



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Ζερβίδα Κλειώς-Αικατερίνης

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

Αθήνα, 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Ζερβίδα Κλειώς-Αικατερίνης

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταματάκη Σοφία, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις /..... / 2017

.....
Σταματάκη Σοφία

.....
Αποστολόπουλος Γεώργιος

.....
Δαμίγος Δημήτριος

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αναπληρώτης Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ευχαριστίες

Ξεκινώντας, 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, αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα, όπως επίσης και στην κα. Ειρήνη Δημητρέλου, μέλος του Εργαστηρίου, για το αμέριστο ενδιαφέρον και την πολύτιμη 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 Δημήτριο Δαμίγο, Αναπληρωτές Καθηγητές της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών και μέλη της τριμελούς επιτροπής, για τις εύστοχες παρατηρήσεις και υποδείξεις τους. Κλείνοντας, θα ήθελα να εκφράσω την αμέριστη ευγνωμοσύνη μου και ένα μεγάλο ευχαριστώ απέναντι στην οικογένεια μου, για την ψυχολογική στήριξη αλλά και για τη συνολική συμπαράσταση που μου προσέφερε όχι μόνο κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας αλλά για όλα τα χρόνια που είναι και θα παραμείνει δίπλα μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Σχιστολιθικό αέριο : Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου» 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 ο διαχωρισμός - σύγκριση των εννοιών συμβατικού και μη συμβατικού φυσικού αερίου, παρουσιάζονται οι κυριότεροι τύποι μη συμβατικού φυσικού αερίου και αποτυπώνεται η κατάσταση των αποθεμάτων τους παγκοσμίως.

Στο **Κεφάλαιο 2**, αναλύονται οι έννοιες του σχιστολίθου και του σχιστολιθικού φυσικού αερίου και παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά, τα οποία διέπουν, καθώς και οι διαεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την γένεση και τον σχηματισμό τους.

Στο **Κεφάλαιο 3**, παρουσιάζεται εκτενέστερα η κατανομή των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου παγκοσμίως, καθώς και η ανάλυση του πολιτικού γίνεσθαι και της δημόσιας αποδοχής που διέπουν κάθε ήπειρο/χώρα ανά την υφήλιο.

Στο **Κεφάλαιο 4**, αναπτύσσονται οι τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου και ειδικότερα τα στάδια που διέπουν τον κύκλο ζωής της παραγωγικής γεώτρησης.

Στο **Κεφάλαιο 5**, παρουσιάζονται οι κίνδυνοι και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες απορρέουν από την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου, τα ισχύοντα κανονιστικά και περιβαλλοντικά πλαίσια καθώς και η ύπαρξη νομοθετικών κενών.

Στο **Κεφάλαιο 6**, αναλύεται η διεθνής αγορά του φυσικού αερίου και πως αυτή διαμορφώνεται με την συμβολή του σχιστολιθικού αερίου και των επιπτώσεων και αλλαγών που επιφέρει η ανάπτυξή του παγκοσμίως.

Στο **Τελευταίο Κεφάλαιο (Συμπεράσματα)**, διατυπώνονται οι κύριες παρατηρήσεις και επισημαίνονται τα συμπεράσματα που απορρέουν από την διπλωματική εργασία.

ABSTRACT

The present thesis entitled "Shale gas: New trends in the international gas market" 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 - comparison of the concepts of conventional and unconventional natural gas is made, the main types of unconventional gas is presented, while their current status in terms of production, offer and reserves is recorded.

In **Chapter 2**, the concepts of shale and shale gas are analyzed; its host geological formation characteristics are presented, as well as the processes taking place during its genesis and its formation.

In **Chapter 3**, the current status of shale gas internationally, as well as the political process and public acceptance are presented around the world.

In **Chapter 4**, shale gas production techniques are developed and, in particular, the life cycle stages of the well production drilling.

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

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

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

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°. Μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου.....	1
1.1. Εισαγωγή.....	1
1.2. Τι είναι το συμβατικό και μη συμβατικό φυσικό αέριο.....	2
1.3. Τύποι μη συμβατικού φυσικού αερίου.....	7
1.3.1. Shale Gas - Σχιστολιθικό αέριο.....	7
1.3.2. Tight Gas – Έγκλειστο αέριο.....	8
1.3.3. Coalbed Methane (CBM) - Μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα.....	8
1.4. Εκτίμηση αποθεμάτων.....	11
1.4.1. Ορισμοί.....	11
1.4.2. Αποθέματα συμβατικού φυσικού αερίου.....	13
1.4.3. Αποθέματα μη συμβατικού φυσικού αερίου.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°. Σχιστολιθικό Φυσικό Αέριο.....	29
2.1. Εισαγωγή.....	29
2.2. Τι είναι ο σχιστόλιθος και το σχιστολιθικό αέριο;.....	29
2.2.1. Σχιστόλιθος.....	29
2.3. Σχιστολιθικό Φυσικό Αέριο.....	50
2.3.1. Γένεση σχιστολιθικού φυσικού αερίου.....	51
2.3.2. Θερμική ωρίμανση οργανικής ύλης – Δημιουργία υδρογονανθράκων.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου παγκοσμίως.....	57
3.1. Εισαγωγή.....	57
3.2. Βόρεια Αμερική.....	63
3.2.1. ΗΠΑ.....	63
3.2.2. Καναδάς.....	79
3.2.3. Μεξικό.....	85
3.3. Νότια Αμερική.....	91
3.3.1. Αργεντινή.....	91
3.3.2. Βραζιλία.....	94
3.4. Αυστραλία.....	96
3.5. Ευρώπη.....	99
3.5.1. Κεντρική Ευρώπη.....	103

3.5.2.	Δυτική Ευρώπη	109
3.5.3.	Βόρεια Ευρώπη	119
3.5.4.	Ανατολική Ευρώπη	122
3.5.5.	Νότια Ευρώπη	128
3.6.	<i>Αφρική</i>	130
3.6.1.	Βόρεια Αφρική	131
3.6.2.	Νότια Αφρική	138
3.7.	<i>Ασία</i>	140
3.7.1.	Κίνα	140
3.7.2.	Ινδία και Πακιστάν	144
3.7.3.	Τουρκία	147
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής της παραγωγικής γεώτρησης		149
4.1.	<i>Ιστορική εξέλιξη της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α.</i>	149
4.2.	<i>Κύκλος ζωής γεώτρησης παραγωγής σχιστολιθικού αερίου</i>	151
4.2.1.	Αξιολόγηση και προετοιμασία της περιοχής της γεώτρησης (well site assessment and preparation)	153
4.2.2.	Όρυξη γεώτρησης (well drilling)	157
4.2.3.	Σωλήνωση γεώτρησης (well casing)	161
4.2.4.	Τσιμέντωση γεώτρησης (well cementing)	164
4.2.5.	Περιμετρική διατρύπηση σωλήνωσης και τσιμέντωσης (perforating)	165
4.2.6.	Υδραυλική Ρωγμάτωση (hydraulic fracturing)	166
4.2.7.	Ακεραιότητα της γεώτρησης (well integrity)	179
4.2.8.	Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου από τη γεώτρηση (production)	181
4.2.9.	Εγκατάλειψη και αποκατάσταση (abandonment and reclamation) μιας γεώτρησης σχιστολιθικού αερίου	183
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου		185
5.1.	<i>Εισαγωγή</i>	185
5.2.	<i>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου</i>	186
5.2.1.	Διαθεσιμότητα νερού (water availability)	188
5.2.2.	Ρύπανση υδάτων (water contamination)	193
5.2.3.	Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (greenhouse gas – GHG emissions)	198
5.2.4.	Συνολική ρύπανση της ατμόσφαιρας (total air pollution)	202

5.2.5.	Διεγερόμενη σεισμικότητα (stimulated seismicity)	204
5.2.6.	Επιπτώσεις στις χρήσεις γης και στο έδαφος (land impacts)	207
5.2.7.	Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα (biodiversity impacts)	209
5.2.8.	Ηχορύπανση (noise pollution).....	210
5.2.9.	Οπτική ρύπανση (visual impacts)	211
5.3.	<i>Κανονιστικό Πλαίσιο</i>	212
5.3.1.	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.....	213
5.3.2.	Καναδάς	221
5.3.3.	Κίνα.....	225
5.3.4.	Αυστραλία.....	229
5.3.5.	Ευρώπη.....	233
5.4.	<i>Επτά «Χρυσοί Κανόνες» για την παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου</i>	259
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο. Διεθνής αγορά φυσικού αερίου		261
6.1.	<i>Εισαγωγή</i>	261
6.2.	<i>Κόστος παραγωγής σχιστολιθικού αερίου</i>	263
6.2.1.	Οικονομικό υπόβαθρο.....	263
6.2.2.	Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής	265
6.2.3.	Ευρώπη.....	274
6.2.4.	Κίνα.....	276
6.3.	<i>Τιμές φυσικού αερίου</i>	278
6.3.1.	Αγορές φυσικού αερίου.....	278
6.3.2.	Παγκόσμιες προβλέψεις τιμών φυσικού αερίου.....	286
6.4.	<i>Μελλοντικές Εκτιμήσεις</i>	289
6.4.1.	Παραγωγή.....	289
6.4.2.	Ζήτηση	299
6.5.	<i>Επιπτώσεις στην Ευρώπη από τις δυνητικές εξαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) των Ηνωμένων Πολιτειών</i>	301
6.5.1.	Έργα εξαγωγών LNG των ΗΠΑ	303
6.5.2.	Προβλέψεις σχετικά με τις εξαγωγές LNG από τις ΗΠΑ	309
6.5.3.	Προβλέψεις σχετικά με τις εισαγωγές φυσικού αερίου από τις ΗΠΑ στην Ευρώπη.....	313
6.5.4.	Πόσο ανταγωνιστικό είναι το LNG των ΗΠΑ έναντι του ρωσικού φυσικού αερίου.....	320
6.5.5.	Η πιθανή στρατηγική άμυνα της Ρωσίας	322
6.6.	<i>Το LNG των Η.Π.Α. μπορεί να αλλάξει τα δεδομένα (“be the game changer”);</i>	326

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	329
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	335
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 . Ευρωπαϊκές μελέτες σχετικά με το σχιστολιθικό αέριο	1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2. Νέα στρατηγική LNG της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.....	1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3. Κατάλογος αρτικόλεξων και συντομογραφιών.....	1

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1-1: Σχηματική αναπαράσταση ταμιευτήρων φυσικού αερίου (EIA, 2010).	3
Εικόνα 1-2: Πυραμίδα απεικόνισης δυνητικών πόρων φυσικού αερίου (συμβατικού και μη) (Holditch, 2006).	6
Εικόνα 1-3: Διαφορές συμβατικών και μη συμβατικών ταμιευτήρων φυσικού αερίου (Departement of Mines and Petroleum).	6
Εικόνα 1-4: Μετακίνηση από τον συμβατικό ψαμμίτη στην μη συμβατική κατηγοριοποίηση του σχιστόλιθου, έγκλειστου ψαμμίτη και CBM (Ahmed, Meehan, & Hughes, 2016).	9
Εικόνα 1-5: Πόροι και Αποθέματα (Resources and Reserves) (McGlade, Speirs, & Sorrell, 2012). ..	13
Εικόνα 1-6: Κατανομή των παγκόσμιων βέβαιων αποθεμάτων για το 2015 (World Energy Council, 2016).	15
Εικόνα 1-7: Κατανομή των παγκόσμιων βέβαιων αποθεμάτων φυσικού αερίου τα έτη 1996, 2006 και 2016 (BP, 2017).	15
Εικόνα 1-8: Παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου (Bcm) την περίοδο 2004-2015 (World Energy Council, 2016).	16
Εικόνα 1-9: Ζήτηση ενέργειας και φυσικού αερίου την περίοδο 2005-2015 (BP, 2016).	18
Εικόνα 1-10: Παγκόσμια ανακτήσιμα αποθέματα συμβατικού και μη συμβατικού φυσικού αερίου (Chengzao, 2017).	21
Εικόνα 1-11: Δυνητικά ανακτήσιμα αποθέματα μη συμβατικού φυσικού αερίου στις 20 κορυφαίες χώρες (Wang & Chengzao, 2016).	22
Εικόνα 1-12: Αποθέματα CMB και δραστηριότητες έρευνας & εκμετάλλευσης των σχετικών κοιτασμάτων ανά τον κόσμο.	23
Εικόνα 1-13: Εκτίμηση αποθεμάτων CBM στις Ηνωμένες Πολιτείες (USGS, 2014).	24
Εικόνα 1-14: Κατανάλωση και παραγωγή φυσικού αερίου στις Η.Π.Α. την περίοδο 1950-2015 (EIA, 2016).	26
Εικόνα 1-15: Παραγωγή φυσικού αερίου σύμφωνα με την υπόθεση αναφοράς το διάστημα 1990-2040 (EIA, 2016).	27
Εικόνα 2-1: Τυπικό παράδειγμα λεπτοστρωμάτωσης σχιστολιθικού σχηματισμού (Norton Rose Fullbright, 2015).	30
Εικόνα 2-2: Σχηματική απεικόνιση ανοικτού και μαύρου σχιστολιθικού πετρώματος (Geology.com, 2017).	31

Εικόνα 2-3:Μαύρος σχιστόλιθος (Geology.com, 2017).	32
Εικόνα 2-4: Σύγκριση μεταξύ των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε συμβατικά και μη συμβατικά πετρελαϊκά συστήματα (Wygrala, 2012-2013).....	33
Εικόνα 2-5: Απεικόνιση παγίδων συσσωρεύσεων πετρελαίου και φυσικού αερίου σε συμβατικούς ταμειυτήρες και προβολή συνεχήs συσώρευσης πετρελαίου και φυσικού αερίου σε σχιστολιθικό ταμειυτήρα (Iqbal & Satter, 2016).	35
Εικόνα 2-6: Πρότυπο κατανομής συμβατικών και μη συμβατικών ταμειυτήρων (Zou, 2013).	36
Εικόνα 2-7: (a) Τριγωνικό διάγραμμα ορυκτολογικής σύστασης σχιστολιθικών σχηματισμών και (b) Ετερογένεια στην ορυκτολογική σύσταση δύο σχιστολιθικών (Zee Ma & Holditch, 2016).....	39
Εικόνα 2-8:Διαφοροποίηση ορυκτολογικής σύστασης σχιστολιθικών ταμειυτήρων στην Βόρεια Αμερική (Zou, 2013).	40
Εικόνα 2-9:Δείγμα από τον σχιστολιθικό σχηματισμό Barnett, στο οποίο είναι άφθονο το ανακρυσταλλωμένο βιογενές πυρίτιο (Zou, 2013).	41
Εικόνα 2-10: Σχέση μεταξύ ολικού πορώδους (total porosity) και ολικού οργανικού άνθρακα (TOC - wt%) (Passey, Bohacs, Esch, Klimentidis, &Sinha, 2010).	42
Εικόνα 2-11:: Σχέση μεταξύ του ολικού οργανικού άνθρακα και τα δυνητικά αποθέματα υδρογονανθράκων (Alexander, etal., 2011),	42
Εικόνα 2-12: Κλίμακα θερμικής ωρίμανσης (Ahmed, Meehan, &Hughes, 2016)	44
Εικόνα 2-13: Απεικόνιση του συνολικού και του ενεργού πορώδους σε ένα οργανικής σύστασης σχιστολιθικό πέτρωμα (Passey, Bohacs, Esch, Klimentidis, & Sinha, 2010).	46
Εικόνα 2-14: Είδη πόρων σε σχιστολιθικό ταμειυτήρα (Zou, 2013).	47
Εικόνα 2-15: Ισόθερμες καμπύλες Langmuir και περιεκτικότητα σε φυσικό αέριο (Alexander, και συν., 2011).	48
Εικόνα 2-16: Διάγραμμα VanKrevelen όπου παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι κηρογόνου συναρτήσει των αναλογίων H/C έναντι O/C (Iqbal & Satter, 2016).	54
Εικόνα 2-17: (a) Διάγραμμα VanKrevelen που περιγράφει τους τύπους του κηρογόνου συναρτήσει των αναλογίων του υδρογόνου και του οξυγόνου προς τον άνθρακα και διαφόρους τύπους υδρογονανθράκων (πετρέλαιο, υγρό αέριο, ξηρό αέριο) και (b) Θερμική μετατροπή του κηρογόνου σε διάφορους τύπους υδρογονανθράκων (Zee Ma & Holditch, 2016).	56
Εικόνα 3-1:Τεχνικός ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου παγκοσμίως (World Energy Counsil, 2016).	58

Εικόνα 3-2: Χάρτης των λεκανών με αξιολογημένους σχηματισμούς σχιστολιθικού φυσικού αερίου και πετρελαίου (EIA/ARI, 2013).	59
Εικόνα 3-3: Οι δέκα χώρες με τα υψηλότερα εκτιμώμενα ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου (U.S.EIA, 2013).	63
Εικόνα 3-4: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ την περίοδο 2007-2015 (EIA, 2016).	64
Εικόνα 3-5: Παραγωγή σχιστολιθικού συναρτήσεως ξηρού φυσικού αερίου στις Η.Π.Α (EIA, 2017).	64
Εικόνα 3-6: Η διαμορφούμενη τάση ενεργειακού εμπορίου στην αγορά των Η.Π.Α. (EIA, 2017).	65
Εικόνα 3-7: Εμφανίσεις σχιστολιθικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες (EIA, 2016).	66
Εικόνα 3-8: Οι 23 σημαντικές λεκάνες και σχηματισμοί σχιστολιθικού φυσικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες (Kennedy, Knecht, & Knecht, 2012) (Warlick International, 2009).	67
Εικόνα 3-9: Χάρτης του σχιστολιθικού σχηματισμού Barnett (EIA, 2011).	68
Εικόνα 3-10: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου-πετρελαίου, αριθμός γεωτρήσεων και καταμέτρηση γεωτρύπανων (rig counts) στον σχηματισμό Barnett (Drilling Information Database, 2014).	69
Εικόνα 3-11: Χάρτης σχηματισμού Marcellus (EIA 2011).	69
Εικόνα 3-12: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, αριθμός γεωτρήσεων και καταμέτρηση γεωτρύπανων στον σχηματισμό Marcellus (Drilling Information Database, 2014).	71
Εικόνα 3-13: Χάρτης σχηματισμού Fayetteville (Warlick International, 2009).	71
Εικόνα 3-14: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, αριθμός γεωτρήσεων και καταμέτρηση γεωτρύπανων στον σχηματισμό Fayetteville (Drilling Information Database, 2014)	72
Εικόνα 3-15: Χάρτης σχηματισμού Woodford (Warlick International, 2009).	72
Εικόνα 3-16: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, αριθμός γεωτρήσεων και καταμέτρηση γεωτρύπανων στον σχηματισμό Woodford (Drilling Information Database, 2014).	73
Εικόνα 3-17: Χάρτης σχηματισμού Hayensville	74
Εικόνα 3-18: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου και αριθμός γεωτρήσεων στον σχηματισμό Haynesville (Drilling Information Database, 2014).	75
Εικόνα 3-19: Χάρτης σχηματισμού Eagle Ford	75
Εικόνα 3-20: Απεικόνιση παραθύρων φάσης του σχηματισμού Eagle Ford (Usman & Nathan, 2016)	76
Εικόνα 3-22: Αριθμός υφιστάμενων γεωτρήσεων και αριθμός απαιτούμενων γεωτρήσεων για την πλήρη ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α. (Kennedy, Knecht, & Knecht, 2012).	77

Εικόνα 3-21: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου από τον σχηματισμό EagleFord, αριθμός γεωτρήσεων και καταμέτρηση γεωτρυπάνων (Drilling Information Database, 2014).	77
Εικόνα 3-23: Ποσοστιαία αναθεώρηση των εκτιμήσεων σχετικά με τη μελλοντική παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. στις Η.Π.Α. μεταξύ των ΑΕΟ 2015 και 2016, για τα έτη 2020, 2025, 2030, 2035 και 2040 (Hughes, 2016).....	78
Εικόνα 3-24: Χάρτης του Καναδά, που απεικονίζει τις πέντε πιο σημαντικές σχιστολιθικές Καναδά (NEB - Canada 2009).....	80
Εικόνα 3-25: Χάρτης του σχιστολιθικού σχηματισμού Horn River (Usman & Nathan, 2016).....	82
Εικόνα 3-26: Χάρτης του σχιστόλιθου Montney στον Καναδά.....	83
Εικόνα 3-27: Χάρτης σχιστόλιθου Duvernay	84
Εικόνα 3-28: Χερσαίες λεκάνες σχιστολιθικού φυσικού αερίου και πετρελαίου στο Μεξικό (EIA, 2015).	85
Εικόνα 3-29: Νέοι δίοδοι διέλευσης αγωγών φυσικού αερίου μεταξύ ΗΠΑ-Μεξικού (EIA, 2016)...	88
Εικόνα 3-30: Δίκτυο αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου από τις Η.Π.Α. στο Μεξικό την περίοδο 2010-2018 (EIA, 2016).	89
Εικόνα 3-31: Δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου και εισαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου στο Μεξικό (EIA, 2016)	90
Εικόνα 3-32: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Αργεντινή (EIA, 2013).....	91
Εικόνα 3-33: Λεκάνη Neuquén σχιστολιθικού αερίου στην Αργεντινή (EIA/ARI, 2013).....	93
Εικόνα 3-34: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου στη Βραζιλία (EIA/ARI, 2013).....	94
Εικόνα 3-35: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου, εμπορική δραστηριότητα και υποδομές LNG στην Αυστραλία (Norton Rose Fullbright, 2015).	97
Εικόνα 3-36: Οι λεκάνες με τα σημαντικότερα αποθέματα μη συμβατικού φυσικού αερίου στην Ευρώπη (IEA, 2012).	100
Εικόνα 3-37: Δυναμικό σχιστολιθικών αποθεμάτων στην Ευρώπη (Wang&Hefley, 2016).	101
Εικόνα 3-38: Χώρες με δυναμικό ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη (Zhiltsov, 2017).	102
Εικόνα 3-39: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία (EIA/ARI, 2013).	104
Εικόνα 3-40: Λεκάνες μη συμβατικών υδρογονανθράκων στην Ουγγαρία (Zhiltsov, 2017).....	108
Εικόνα 3-41: Λεκάνη σχιστολιθικού αερίου Vienna στην Αυστρία (EIA/ARI, 2013).....	109

Εικόνα 3-42: Λεκάνη Κάτω Σαξονίας σχιστολιθικού αερίου στη Γερμανία (EIA, 2015).....	111
Εικόνα 3-43:Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Γαλλία (Nodé-Langlois, 2011).	113
Εικόνα 3-44: Περιοχές σχιστολιθικού αερίου στο Ηνωμένο Βασίλειο (EIA, 2015).	116
Εικόνα 3-45: Ο σχιστολιθικός σχηματισμός Alum στη Δανία και τη Σουηδία (EIA/ARI, 2013).	119
Εικόνα 3-46: Περιοχές έρευνας σχιστολιθικού αερίου στην Δανία από την εταιρεία TOTAL (TOTAL, 2013).	121
Εικόνα 3-47: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Ανατολική Ευρώπη (EIA, 2015).	122
Εικόνα 3-48: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στη Ρωσία (EIA, 2015).	126
Εικόνα 3-49: Ύπαρξη σχιστολιθικού αερίου στη λεκάνη της Θράκης στα σύνορα Ελλάδας και Τουρκίας (EIA, 2015).	128
Εικόνα 3-50: Εμφανίσεις σχιστολιθικών σχηματισμών στην Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα και θέσεις γεωτρήσεων (Roussos, 1993).....	129
Εικόνα 3-51: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Βόρεια και Νότια Αφρική (Alexander, και συν., 2011).	130
Εικόνα 3-52: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Αλγερία (EIA/ARI, 2013).	131
Εικόνα 3-53: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Αίγυπτο (EIA, 2015).....	134
Εικόνα 3-54: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στη Λιβύη (EIA, 2015).....	136
Εικόνα 3-55:Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στη λεκάνη Καροο, στην Νότιο Αφρική (EIA, 2015)..	138
Εικόνα 3-56: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Κίνα (EIA, 2015).	141
Εικόνα 3-57: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Ινδία καιτοΠακιστάν (EIA, 2015).	144
Εικόνα 3-58: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Τουρκία (EIA, 2015).	147
Εικόνα 4-1:Στάδια και επιμέρους διαδικασίες του κύκλου ζωής του παραγόμενου σχιστολιθικού αερίου σύμφωνα με το World Resources Institute (WRI, 2012).	152
Εικόνα 4-2: Γενικό χρονοδιάγραμμα και σύνοψη των σταδίων και των επί μέρους δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου από μια γεώτρηση (EPA, 2016).....	153
Εικόνα 4-3:Σεισμική έρευνα κατά το στάδιο της εξερεύνησης σχιστολιθικού αερίου (Shale Gas in Australia, 2017).....	154
Εικόνα 4-4:Χώρος όρυξης γεώτρησης στον Καναδά με τον απαραίτητο εξοπλισμό για την εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης (Council of Canadian Academies, 2014).....	156

Εικόνα 4-5:Απεικόνιση κατακόρυφης και οριζόντιας γεώτρησης, και υδραυλικής ρωγμάτωσης του σχιστολίθου (Zendehboudi & Bahadori, 2016).....	158
Εικόνα 4-6:Το pad drilling επιτρέπει την όρυξη πολλαπλών οριζόντιων γεωτρήσεων από την ίδια θέση του γεωτρύπανου έναντι των παραδοσιακών κατακόρυφων γεωτρήσεων.....	159
Εικόνα 4-7:Αποστράγγιση των ρευστών του σχιστολιθικού ταμιευτήρα με την εφαρμογή της τεχνικής padd rilling (EIA, 2012).	160
Εικόνα 4-8: Τύποι πλευρικών γεωτρήσεων (lateralwells) που ορύσσονται από μια κατακόρυφη γεώτρηση (von Flatern, 2016).....	160
Εικόνα 4-9: Σχηματική απεικόνιση της σωλήνωσης και τσιμέντωσης στη γεώτρηση στο σχηματισμό Marcellus.....	163
Εικόνα 4-10:Διαδικασία τσιμέντωσης (WPI, 2013).	165
Εικόνα 4-11:Περιμετρική διάτρηση (perforation) της παραγωγικής σωλήνωσης (WPI, 2013).	166
Εικόνα 4-12:Διάυλος επικοινωνίας μεταξύ του σχηματισμού και της γεώτρησης μετά την εκτέλεση της περιμετρικής διάτρησης (WPI, 2013).	166
Εικόνα 4-13: Σύσταση ρευστού ρωγμάτωσης (Council of Canadian Academies, 2014).	167
Εικόνα 4-14:Δημιουργία ρωγματώσεων στο σχιστολιθικό σχηματισμό με την εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης (Zendehboudi & Bahadori, 2016).	169
Εικόνα 4-15: Απεικόνιση της υδραυλικής ρωγμάτωσης κατά στάδια (The Royal Society, The Royal Academy of Engineering, 2012).	170
Εικόνα 4-16: Απεικόνιση των προσθέτων (proppants) για τη διατήρηση των ρωγμών ανοιχτών (Zendehboudi & Bahadori, 2016).	171
Εικόνα 4-17: Γεώτρηση εισπίεσης κατηγορίας II.....	172
Εικόνα 4-18: Προβλήματα τσιμέντωσης μιας γεώτρησης (Council of Canadian Academies, 2014).	180
Εικόνα 4-19:Καμπύλη εξέλιξης παραγωγής του σχηματισμού Eagle Ford (Lund, 2014).....	182
Εικόνα 4-20:Τυπικές καμπύλες εξέλιξης της παραγωγής στους κυριότερους ταμιευτήρες σχιστολιθικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες (Scoothman, 2016).....	183
Εικόνα 5-1:Κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου (Environment Agency, 2013).....	188
Εικόνα 5-2:Κατανάλωση νερού για συμβατικό και σχιστολιθικό αέριο ανά στάδιο του κύκλου ζωής μιας γεώτρησης παραγωγής (Clark, Horner, &Harto, 2013).	192

Εικόνα 5-3: Χρήση νερού κατά τη διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης (NETL, 2014).	194
Εικόνα 5-4: Διάγραμμα μεταβολής της μετρούμενης συγκέντρωσης μεθανίου (φυσικού αερίου) σε δείγματα υπογείων υδάτων συναρτήσει της απόστασης από ενεργές και μη ενεργές γεωτρήσεις στην Πενσυλβάνια, ΗΠΑ (Osborn, Stephen G.; Vengosh, Avner; Warner, Nathaniel R.; Jackson, Robert B., 2011).	197
Εικόνα 5-5: Νερό βρύσης που αναφλέγεται λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων μεθανίου που περιέχει (TheTelegraph, 2010).	198
Εικόνα 5-6: Σύγκριση των εκπομπών του κύκλου ζωής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από διάφορες πηγές αερίου και γαιάνθρακα (MacKay, 2013).	201
Εικόνα 5-7: Εκτιμήσεις για τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (well-to-burner) που συνδέονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα, συμβατικό αέριο, μη συμβατικό αέριο και σχιστολιθικό αέριο από τον σχηματισμό Barnett μετά από μεθοδολογική εναρμόνιση (Logan, Heath, Paranhos, Boyd, & Carlson, 2012).	202
Εικόνα 6-1: Κατανομή κόστους όρυξης και ολοκλήρωσης γεώτρησης (drilling and completion cost) χερσαίας γεώτρησης σχιστολιθικού αερίου (EIA, 2016).	266
Εικόνα 6-2: Κατανομή του κόστους για την όρυξη και ολοκλήρωση χερσαίων γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ (EIA, 2016).	267
Εικόνα 6-3: Τα μέσα κόστη όρυξης και ολοκλήρωσης της γεώτρησης για 5 onshore σχιστολιθικούς σχηματισμούς (EIA, 2016).	268
Εικόνα 6-4: Κατανομή του κεφαλαιουχικού κόστους γεώτρησης ανά σχιστολιθικό σχηματισμό, το 2014 (EIA, 2016).	270
Εικόνα 6-5: Κατανομή λειτουργικού κόστους γεώτρησης ανά σχιστολιθικό σχηματισμό, το 2014 (EIA, 2016).	271
Εικόνα 6-6: Κόστος όρυξης μίας γεώτρησης σχιστολιθικού φυσικού αερίου στην Κίνα (λεκάνη Sichuan) το 2013 και το 2015 (σε million nominal U.S. dollars) (EIA, 2016).	277
Εικόνα 6-7: Στοιχεία κόστους ανάπτυξης σχιστολιθικού φυσικού αερίου στην Κίνα (λεκάνη Sichuan), το 2015 (σε million nominal U.S. dollars) (EIA, 2016).	277
Εικόνα 6-8: Η εξέλιξη των τιμών φυσικού αερίου μεταξύ των τριών περιφερειακών αγορών (Atradius Economic Research, 2017).	279
Εικόνα 6-9: μηνιαία εξέλιξη των τιμών φυσικού αερίου στο HenryHub (spot prices) (EIA Energy Conference, 2017).	282

Εικόνα 6-10: Μηνιαία και ετήσια μέση τιμή spotφυσικού αερίου στο HenryHub κατά την περίοδο 1997-2016. (Πηγή: (EIA, USEnergyInformationAdministration, 2017).	282
Εικόνα 6-11: Οι τιμές wellhead του Marcellus ήταν \$0.88 per mmBtu χαμηλότερες από τις τιμές του Henry Hub το 2016 (Berman, 2017).	283
Εικόνα 6-12:Προβλέψεις για τις παγκόσμιες τιμές του φυσικού αερίου ((TheWorldBank, 2016) ...	287
Εικόνα 6-13: Τιμές φυσικού αερίου ανά περιοχή, βάσει του σεναρίου NewPoliciesScenario (IEA, World Energy Outlook, 2015).....	287
Εικόνα 6-14: Παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου ανά τύπο στο σενάριο “New Policies Scenario”, για το 2040 (IEA, WorldEnergyOutlook, 2015).	290
Εικόνα 6-15: Παγκόσμια προσφορά και ζήτηση φυσικού αερίου για την περίοδο 2014-2040 (Bcm) (IEA, World Energy Outlook, 2015).....	291
Εικόνα 6-16: Παραγωγή φυσικού αερίου ανά τύπο στην Κίνα, Καναδά και στις ΗΠΑ, το 2012 και το 2040 (EIA, 2016).	292
Εικόνα 6-17: Μελλοντική εξέλιξη της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α. (πέντε σενάρια) την χρονική περίοδο 2015-2040 (EIA, 2016).	294
Εικόνα 6-18: Παραγωγή ξηρού φυσικού αερίου ανά πηγή (EIA, 2017).	295
Εικόνα 6-19: Παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου σε επιλεγμένες χώρες στο σενάριο των New Policies Scenario (IEA, World Energy Outlook, 2015).	296
Εικόνα 6-20: Παγκόσμια ζήτηση φυσικού αερίου ανά σενάριο (IEA, World Energy Outlook, 2015).	299
Εικόνα 6-21: Περιφερειακό μερίδιο φυσικού αερίου στην πρωταρχική ενεργειακή ζήτηση, βάσει του New Policies Scenario (IEA, World Energy Outlook, 2015).....	300
Εικόνα 6-22: Τερματικοί σταθμοί εξαγωγής LNG στις Ηνωμένες Πολιτείες (EIA, 2016).....	304
Εικόνα 6-23: Εγκεκριμένοι τερματικοί σταθμοί εισαγωγής/εξαγωγήςLNGτης Βόρειας Αμερικής(LiquefiedNaturalGasExports/ America'sOpportunityandAdvantages, 2016), (FERC, 2017).	306
Εικόνα 6-24: Αύξηση της εξαγωγικής ικανότητας LNG των ΗΠΑ (έργα υπό κατασκευή τον Απρίλιο του 2016) (Cornot-Gandolphe, 2016).	307
Εικόνα 6-25: Τιμές LNG (USD / MMBtu) ανά τον κόσμο (Φεβρουάριος 2016).....	309
Εικόνα 6-26: Το εμπόριο φυσικού αερίου στις ΗΠΑ την περίοδο 1980-2040 (EIA, 2017).....	311

Εικόνα 6-27: Παραγωγή, κατανάλωση και εμπόριο φυσικού αερίου σύμφωνα με την περίπτωση αναφοράς του ΑΕΟ2017 (ΕΙΑ, 2017).....	312
Εικόνα 6-28: Εξαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου από τις ΗΠΑ την περίοδο 2000-2040 (ΕΙΑ, 2017).	312
Εικόνα 6-29: Υποδομές υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) στην Ευρώπη (European Commission, 2016).	315
Εικόνα 6-30: Ημερήσιες εισαγωγές LNG από τους τερματικούς σταθμούς στην Ευρώπη την περίοδο 2014-2016.	316
Εικόνα 6-31: Μεταβλητό κόστος LNG των ΗΠΑ έναντι της τιμήςNBP (Corbeau & Yermakov, 2016).	321
Εικόνα 6-32: Πιθανή εξέλιξη των τιμών φυσικού αερίου της Ρωσίας και του κόστους LNG των ΗΠΑ (Cornot-Gandolphe, 2016).	325

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1-1: Τυπική σύσταση φυσικού αερίου σε διάφορα στάδια παραγωγής και διανομής (National Energy Technology Laboratory, 2013).	2
Πίνακας 1-2: Διαφορές μεταξύ συμβατικού και μη συμβατικού αερίου	7
Πίνακας 1-3: Είδη μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου	10
Πίνακας 1-4: : Ερμηνεία της ορολογίας που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των πόρων και των αποθεμάτων του μη συμβατικού φυσικού αερίου (McGlade, Speirs, & Sorrell, 2012).	12
Πίνακας 1-5: Παγκόσμια βέβαια αποθέματα συμβατικού φυσικού αερίου (BP, 2017).	14
Πίνακας 1-6: Εκτίμηση ανακτήσιμων αποθεμάτων μη συμβατικού φυσικού αερίου παγκοσμίως (Wang&Chengzao, 2016).....	22
Πίνακας 2-1: Διαφορές χαρακτηριστικών μεταξύ ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και συμβατικού αερίου (Iqbal & Satter, 2016).....	37
Πίνακας 2-2: Σύγκριση γεωλογικών συνθηκών και σχιστολιθικών ταμιευτήρων στις ΗΠΑ και στην Κίνα (Zou, 2013).....	50
Πίνακας 2-3: Τύποι και χαρακτηριστικά κηρογόνου (Zee Ma & Holditch, 2016).....	53
Πίνακας 2-4: Γένεση πετρελαίου και φυσικού αερίου (Iqbal & Satter, 2016).	56
Πίνακας 3-1: Εφαρμογής της μελέτης των EIA/ARI για την αξιολόγηση των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου (EIA/ARI, 2013).....	60
Πίνακας 3-2: Τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου (EIA/ARI, 2013).	61
Πίνακας 3-3: Εκτιμήσεις των αρχικά επί τόπου αποθεμάτων και των τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου στις 7 Ηπείρους (EIA/ARI, 2013).....	61
Πίνακας 3-4: Οι δέκα χώρες με τα υψηλότερα εκτιμούμενα ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου (U.S.EIA, 2013).....	62
Πίνακας 3-5: Παραγωγή σχιστολιθικού φυσικού αερίου στις ΗΠΑ (EIA, 2016).	63
Πίνακας 3-6: Ανακτήσιμα αποθέματα και παραγωγή συμβατικού και μη συμβατικού αερίου στις ΗΠΑ (IEA, 2012).....	65
Πίνακας 3-7: Γεωτρήσεις στους σχιστολιθικούς σχηματισμούς και εξέδρες στις ΗΠΑ (Drilling Information Database, 2014).....	67
Πίνακας 3-8: Χαρακτηριστικά σχηματισμού Barnett	68

Πίνακας 3-9: Χαρακτηριστικά σχηματισμού Marcellus	70
Πίνακας 3-10: Χαρακτηριστικά σχηματισμού Fayetteville	71
Πίνακας 3-11: Χαρακτηριστικά σχηματισμού Woodford.....	73
Πίνακας 3-12: Χαρακτηριστικά σχηματισμού Haynesville	74
Πίνακας 3-13: Χαρακτηριστικά σχηματισμού Eagle Ford	76
Πίνακας 3-14: Αποθέματα σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου στον Καναδά (EIA/ARI, 2013). ..	79
Πίνακας 3-15: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στη British Columbia και στις Βορειοδυτικές περιοχές (EIA/ARI, 2013).	81
Πίνακας 3-16: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στην περιοχή της Alberta (EIA/ARI, 2013).	81
Πίνακας 3-17: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στον Ανατολικό Καναδά (EIA/ARI, 2013).	81
Πίνακας 3-18: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικού σχηματισμού Horn River	82
Πίνακας 3-19: Χαρακτηριστικά σχιστόλιθου Montney	83
Πίνακας 3-20: Χαρακτηριστικά σχιστόλιθου Duvernay.....	84
Πίνακας 3-21: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών ταμιευτήρων και εκτιμώμενα αποθέματα στο Μεξικό (EIA, 2015).	90
Πίνακας 3-22: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών ταμιευτήρων φυσικού αερίου στην Αργεντινή (EIA/ARI, 2013).	91
Πίνακας 3-23: Χαρακτηριστικά ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στη Βραζιλία (EIA/ARI, 2013).	95
Πίνακας 3-24: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στην Αυστραλία (EIA, 2015).	98
Πίνακας 3-25: Χαρακτηριστικά ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμώμενα αποθέματα στην Πολωνία (EIA, 2015).	105
Πίνακας 3-26: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμώμενα αποθέματα στη λεκάνη της Κάτω Σαξονίας στη Γερμανία (EIA/ARI, 2013).	111
Πίνακας 3-27: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμώμενα αποθέματα στη λεκάνη του Παρισιού στη Γαλλία (EIA, 2013).	114
Πίνακας 3-28: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμώμενα αποθέματα στην Ανατολική Ευρώπη (EIA/ARI, 2013).....	123

Πίνακας 3-29: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμώμενα αποθέματα στη Ρωσία (EIA/ARI, 2013).	126
Πίνακας 3-30: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμώμενα αποθέματα στην Αλγερία (EIA, 2015).	133
Πίνακας 3-31:Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμώμενα αποθέματα στην Αίγυπτο (EIA/ARI, 2013)	135
Πίνακας 3-32:Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμώμενα αποθέματα στην Λιβύη (EIA/ARI, 2013).	137
Πίνακας 3-33: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στην λεκάνη Karoo στη Νότιο Αφρική (EIA/ARI, 2013).....	139
Πίνακας 3-34: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στην Κίνα (EIA/ARI, 2013)	141
Πίνακας 3-35:Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στην Ινδία (EIA/ARI, 2013)	145
Πίνακας 3-36:Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στο Πακιστάν (EIA/ARI, 2013).	145
Πίνακας 3-37: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμώμενα αποθέματα στην Τουρκία (EIA/ARI, 2013).	148
Πίνακας 4-1:Κατηγορίες πρόσθετων ουσιών και χημικών συστατικών που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ρωγμάτωση (Council of Canadian Academies, 2014).	168
Πίνακας 5-1: Περίληψη της προκαταρκτικής αξιολόγησης κινδύνων από την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου (AEA, 2012).	186
Πίνακας 5-2: Εύρος κατανάλωσης νερού ανά γεώτρηση σε διάφορους σχιστολιθικούς σχηματισμούς στον Καναδά (Council of Canadian Academies, 2014).	189
Πίνακας 5-3: Μέσος όρος κατανάλωσης νερού ανά γεώτρηση σε διάφορους σχιστολιθικούς σχηματισμούς στις Ηνωμένες Πολιτείες (DOE, 2009) (Mathis, 2011) (GAO, 2012a).	189
Πίνακας 5-4: Κατανάλωση νερού ανάλογα με την τύπο του ενεργειακού πόρου (Council of Canadian Academies, 2014).....	192
Πίνακας 5-5: Σύσταση ρευστού υδραυλικής ρωγμάτωσης και επικινδυνότητα (Cooper, Stamford, & Azapag, ShaleGas: A Review of the Economic, Environmental, and Social Sustainability, 2016). ...	194
Πίνακας 5-6: Σκοπός και αριθμός μετακινήσεων φορτηγών (Climate Principles, 2013).	211
Πίνακας 5-7: Νομοθετικά κείμενα και πράξεις της ΕΕ σχετικά με το σχιστολιθικό αέριο	243

Πίνακας 6-1: Βασικές παραδοχές κόστους γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη (Πηγή: ICF, 2014).....	276
Πίνακας 6-2: Τιμές αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου ανά σενάριο (IEA, World Energy Outlook, 2015).	288
Πίνακας 6-3: Παγκόσμια παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου στο σενάριο των νέων πολιτικών (Bcm) (IEA, World Energy Outlook, 2015).....	292
Πίνακας 6-4: Ζήτηση φυσικού αερίου ανά σενάριο και περιοχή (IEA, World Energy Outlook, 2015)	300
Πίνακας 6-5: Τερματικά έργα εξαγωγών LNG εγκεκριμένα από το FERC (Cornot-Gandolphe, 2016).	304
Πίνακας 6-6: Σύγκριση εκτιμώμενων τιμών εκφόρτωσης (landed prices) για το LNG της Βόρειας Αμερικής, της Ευρώπης και της Ασίας τον Ιούλιο του 2013 και τον Δεκέμβριο του 2015 (σε USD/MMBtu)	317

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°. Μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου

1.1. Εισαγωγή

Σε μια εποχή που το ενεργειακό ζήτημα είναι πιο κρίσιμο από ποτέ, η παραγωγή φυσικού αερίου (φ.α.) από μη συμβατικές πηγές έχει γίνει αναπόφευκτη. Με την οικονομική ανάπτυξη και την αύξηση του πληθυσμού, η παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση έχει αυξηθεί ραγδαία την τελευταία εικοσαετία. Έτσι, η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση νέων πόρων φ.α. για την κάλυψη των ολοένα αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων οδήγησε στην λεγόμενη επανάσταση του μη συμβατικού φ.α. (σχιστολιθικού αερίου).

Οι μακροπρόθεσμες τάσεις στη βιομηχανία φ.α. και οι ενεργειακές πολιτικές που θα διαμορφώσουν τις μελλοντικές αγορές φ.α. έχουν θέσει το μη συμβατικό φ.α. στον ενεργειακό χάρτη. Σε μερικές από τις ταχέως αναπτυσσόμενες οικονομίες (κυρίως στην Κίνα και στην Ινδία), η πολύ μεγάλη αύξηση της ζήτησης φ.α. σε συνδυασμό με την περιορισμένη διαθεσιμότητα της εγχώριας παραγωγής υποχρεώνει τις χώρες αυτές να αναζητήσουν νέες εναλλακτικές λύσεις εφοδιασμού με φ.α.. Έτσι, ενώ το διεθνές δίκτυο αγωγών μεταφοράς φ.α. προβλέπεται να διατηρήσει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια προμήθεια φ.α., το υδροποιημένο και το μη συμβατικό φ.α. θα καταστούν σημαντικές πηγές για την μακροπρόθεσμη προμήθεια φ.α..

Επιπλέον οι πόροι μη συμβατικού φ.α. βρίσκονται σε πολλά μέρη του κόσμου σε αφθονία, συμπεριλαμβανομένων περιοχών που οι πόροι συμβατικού φ.α. εξαντλούνται. Αυτές οι περιοχές είναι πιθανό να προσπαθήσουν να αναπτύξουν τις μη συμβατικές πηγές του φ.α. που διαθέτουν. Ο ρυθμός με τον οποίο το μη συμβατικό φ.α. αναπτύσσεται θα έχει αντίκτυπο στο ισοζύγιο προσφοράς - ζήτησης, καθώς το συμβατικό υδροποιημένο φ.α. (LNG) δεν θα κατέχει πια το μονοπώλιο στην ικανοποίηση της αυξανόμενης ζήτησης σε ορισμένες από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες αγορές.

Η ανάπτυξη των μη συμβατικών πηγών φ.α. αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά τις παγκόσμιες αγορές φ.α. στο μέλλον. Ειδικότερα, το σχιστολιθικό αέριο αντιστοιχεί σε περισσότερο από το 10% της παγκόσμιας παραγωγής φ.α. το 2014 και εισέρχεται σε παγκόσμιες αγορές όπως το LNG, διαταράσσοντας έτσι το τοπίο της παγκόσμιας τροφοδοσίας και δημιουργώντας έναν αυξανόμενο ανταγωνισμό στις περιφερειακές αγορές του φ.α.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής είναι πρωτοπόρος στην αξιοποίηση του μη συμβατικού φ.α. και αποτελεί την πρώτη χώρα παγκοσμίως, η οποία πραγματοποίησε εμπορική παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Στην Βόρεια Αμερική αυτή η διαδικασία βρίσκεται ήδη εν εξελίξει, ενώ και άλλες χώρες αναπτύσσουν σταδιακά ρυθμιστικά και φορολογικά πλαίσια που επιτρέπουν την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων μη συμβατικού φ.α. (π.χ. Κίνα, Αυστραλία, Πολωνία κ.λπ.).

1.2. Τι είναι το συμβατικό και μη συμβατικό φυσικό αέριο

Το φ.α. αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4), και σε μικρότερα ποσοστά από βουτάνιο, αιθάνιο, προπάνιο, και άλλα αέρια. Είναι άοσμο, άχρωμο, και, όταν καίγεται, απελευθερώνει σημαντικό ποσό ενέργειας. Στον πίνακα 1-1 παρουσιάζεται η τυπική σύσταση του φ.α. (% κ.ό.) σε διάφορα στάδια της παραγωγής και διανομής του. Το υγροποιημένο φ.α. αποτελείται σχεδόν εξολοκλήρου από μεθάνιο.

Πίνακας 1-1: Τυπική σύσταση φυσικού αερίου σε διάφορα στάδια παραγωγής και διανομής (National Energy Technology Laboratory, 2013).

Component	Chemical Formula	Wellhead Gas (%)	Typical Pipeline Gas (%)	Liquefied Natural Gas (%)
Methane	CH_4	70-90	88.90	94.7
Ethane	C_2H_6	0-20	5.34	4.8
Propane	C_3H_8		0.46	0.4
Butane	C_4H_{10}		0.05	0.06
Pentane	C_5H_{12}	<1	0.03	0.01
Hexane	C_6H_{14}	<1	0.02	0.01
Nitrogen	N_2	0-5	5.50	0.02
Carbon Dioxide	CO_2	0-8	0.50	-
Hydrogen Sulfide	H_2S	0-5	-	-
Rare Gases	Ar, He, Ne, Xe	trace	-	-
Avg. btu/cu. ft.		1100-1300+	986	1047

Το φ.α. βρίσκεται μέσα σε πετρώματα (ταμιευτήρες) κάτω από την επιφάνεια της γης. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να σχετίζεται και με κοιτάσματα πετρελαίου. Μόλις εξαχθεί από το υπέδαφος, υφίσταται επεξεργασία για την απομάκρυνση διαφόρων αερίων, νερού, διαφόρων σωματιδίων και άλλων ακαθαρσιών όπως το υδρόθειο. Μετά το πέρας της επεξεργασίας, το καθαρό φ.α. (σχεδόν όλο μεθάνιο) διανέμεται μέσω ενός συστήματος αγωγών στο τελικό σημείο κατανάλωσης για οικιακή, εμπορική και βιομηχανική χρήση (National Energy Technology Laboratory, 2013).

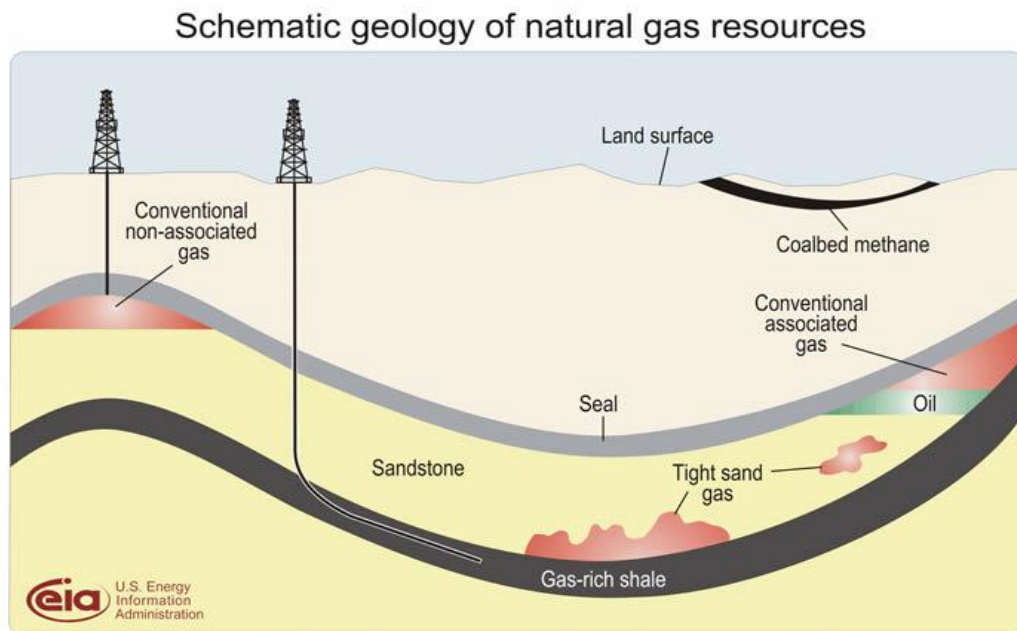
Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο. Μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου

Το φ.α. δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια διαφόρων εποχών της γεωλογικής ιστορίας του πλανήτη και μετανάστευσε από τους χώρους δημιουργίας του σε υπόγειους ταμιευτήρες, όπως σε πορώδη πετρώματα ή τεκτονικές παγίδες σε ποικίλους γεωλογικούς σχηματισμούς. Το φ.α. ανακτάται μέσω γεωτρήσεων που ορύσσονται σε αυτούς τους ταμιευτήρες.

Ένας ταμιευτήρας φ.α. μπορεί να εντοπίζεται μέσα σε στρώματα πετρωμάτων, αντίκλινα ή βαθιές γεωλογικές δομές μέσα στον φλοιό της γης (Εικόνα 1-1). Οι ταμιευτήρες είναι περατοί και πορώδεις για να αποθηκεύουν αέρια στο εσωτερικό των πόρων και να επιτρέπουν την μετακίνησή τους. Για να παγιδευτεί το φ.α. θα πρέπει οι ταμιευτήρες να καλύπτονται από ένα αδιαπέραστο πέτρωμα, το οποίο θα αποτρέπει τυχόν διαφυγή του φ.α..

Το φ.α. σχηματίζεται με δύο τρόπους, είτε απευθείας από οργανικά υλικά είτε από θερμική διάσπαση του πετρελαίου σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.



Εικόνα 1-1: Σχηματική αναπαράσταση ταμιευτήρων φυσικού αερίου (EIA, 2010).

Οι ταμιευτήρες φ.α. διακρίνονται σε συμβατικούς και μη συμβατικούς. Η βασική διαφορά μεταξύ των συμβατικών και των μη συμβατικών ταμιευτήρων φ.α. είναι ότι στην πρώτη περίπτωση το μητρικό πέτρωμα διαφέρει από τον ταμιευτήρα, ενώ στη δεύτερη περίπτωση το μητρικό πέτρωμα αποτελεί και τον ταμιευτήρα. Η Society of Petroleum Engineers χαρακτηρίζει τα μη συμβατικά κοιτάσματα υδρογονανθράκων ως *συγκεντρώσεις πετρελαίου ή φυσικού αερίου, οι οποίες είναι ευρέως διαδεδομένες σε μια μεγάλη περιοχή και δεν επηρεάζονται σημαντικά από την πίεση που ασκείται από το νερό (υδροδυναμικές επιδράσεις)*

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

και επίσης καλούνται ως συνεχείς αποθέσεις ή ως συμπαγείς σχηματισμοί (*tight formations*). Η έλλειψη διαπερατότητας στους μη συμβατικούς σχηματισμούς σημαίνει ότι το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο θα παραμείνουν μέσα στο μητρικό πέτρωμα εκτός αν επέλθουν φυσικές ή τεχνικές ρωγμές και αυτό καθιστά απαραίτητη την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Αντίθετα, τα συμβατικά κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου συσσωρεύονται σε πορώδεις και διαπερατούς ψαμμιτικούς ή ανθρακικούς ταμιευτήρες. Κάτω από την επίδραση που ασκεί το νερό, οι υδρογονάνθρακες μεταναστεύουν διατρέχοντας πορώδεις σχηματισμούς έως ότου βρεθούν σε κατάλληλη γεωλογική δομή η οποία καλύπτεται από αδιαπέρατο πέτρωμα - κάλυμμα (*impermeable cap-rock*) και να παγιδευτούν.

Οι ταμιευτήρες *συμβατικού φ.α.* χαρακτηρίζονται από υψηλής διαπερατότητας πορώδεις σχηματισμούς με το φ.α. να είναι αποθηκευμένο στα κενά των πόρων. Οι ταμιευτήρες φ.α. χαρακτηρίζονται γενικά συμβατικοί αν δεν απαιτείται ιδιαίτερη διαδικασία διέγερσης προκειμένου να παραχθεί το περιεχόμενο σε αυτούς φ.α. με οικονομικό τρόπο. Η εκμετάλλευση των συμβατικών ταμιευτήρων φ.α. γίνεται συνήθως με κατακόρυφες γεωτρήσεις και σε πολλές περιπτώσεις επιτυγχάνεται συντελεστής απόληψης πάνω από 80% των αρχικών επί τόπου αποθεμάτων φ.α. (Original Gas In-Place - OGIP). Επί του παρόντος, ως αποτέλεσμα της διαθεσιμότητας των πόρων και το χαμηλό κόστος εξόρυξης, το φ.α. από συμβατικούς ταμιευτήρες αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μερίδιο της παγκόσμιας παραγωγής φ.α.. Συνοπτικά, οι συμβατικοί ταμιευτήρες παράγουν φ.α. με την χρήση παραδοσιακών - συμβατικών τεχνολογιών και τα χαρακτηριστικά του πετρώματος και του ρευστού είναι ευνοϊκά για την παραγωγή σε εμπορική κλίμακα (Holditch, 2006).

Εν αντιθέσει, οι *μη συμβατικοί* ταμιευτήρες φ.α. απαιτούν καινοτόμες προσεγγίσεις και νέες τεχνολογίες, ώστε η εκμετάλλευσή τους να καθίσταται οικονομική, καθώς χαρακτηρίζονται από σχηματισμούς πολύ χαμηλής διαπερατότητας και χαμηλού πορώδους με άμεση συνέπεια το φ.α. να μην μπορεί να εξορυχθεί με τις συμβατικές τεχνικές. Για την παραγωγή φ.α. από μη συμβατικούς ταμιευτήρες χρησιμοποιείται η ειδική τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε συνδυασμό με τις οριζόντιες γεωτρήσεις. Οι συντελεστές απόληψης (*recovery factors*) που επιτυγχάνονται είναι πολύ μικρότεροι σε σχέση με αυτούς που επιτυγχάνονται αντίστοιχα στους συμβατικούς ταμιευτήρες φ.α. και συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 15 και 30% του αρχικού φ.α. στο κοίτασμα. Οι τρεις πλέον κοινοί τύποι μη συμβατικών ταμιευτήρων φ.α. είναι το σχιστολιθικό αέριο (*shale gas*), το έγκλειστο αέριο (*tight gas*) και το μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων (*coalbed methane - CBM*).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

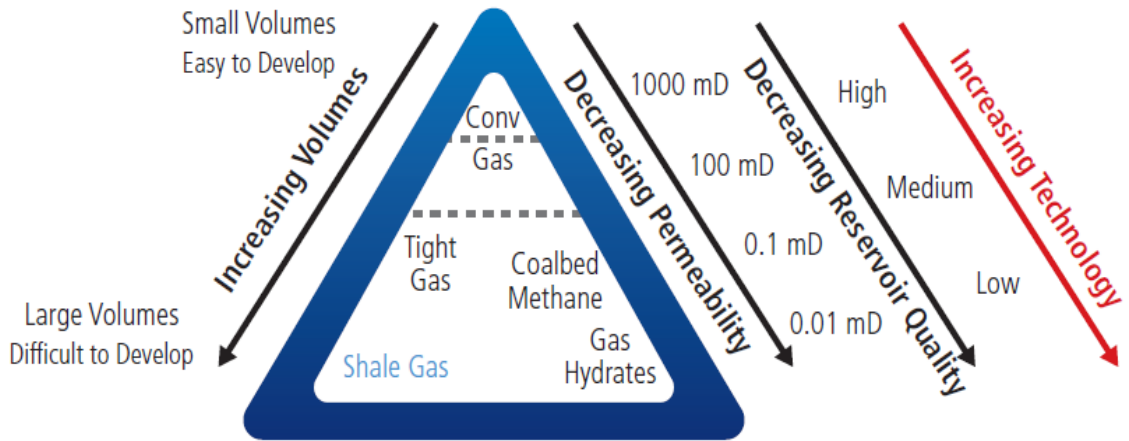
Οι ταμιευτήρες μη συμβατικού φ.α. χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές πορώδους και διαπερατότητας (σε σχέση με τους ταμιευτήρες συμβατικού φ.α.). Περαιτέρω κοινά χαρακτηριστικά των μη συμβατικών ταμιευτήρων φ.α. είναι :

- Ότι η κατ' όγκο περιεκτικότητα σε φ.α. του αποθήκευτρου πετρώματος είναι μικρή σε σύγκριση με εκείνη των συμβατικών κοιτασμάτων, και
- Ότι καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση (εξάπλωση σε έκταση δεκάδων χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων).

Επομένως, απαιτούνται ειδικές μέθοδοι για την εξόρυξη του μη συμβατικού φ.α.. Επιπλέον, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας υδρογονανθράκων των μητρικών πετρωμάτων, η παραγωγή ανά γεώτρηση είναι πολύ μικρότερη από εκείνη των συμβατικών κοιτασμάτων, γεγονός που καθιστά την οικονομική εκμετάλλευσή τους πιο δύσκολη. Οι μέθοδοι εξόρυξης του μη συμβατικού φ.α. απαιτούν εξειδικευμένες τεχνολογίες, μεγάλες ποσότητες νερού και την έγχυση πρόσθετων, τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβή για το περιβάλλον.

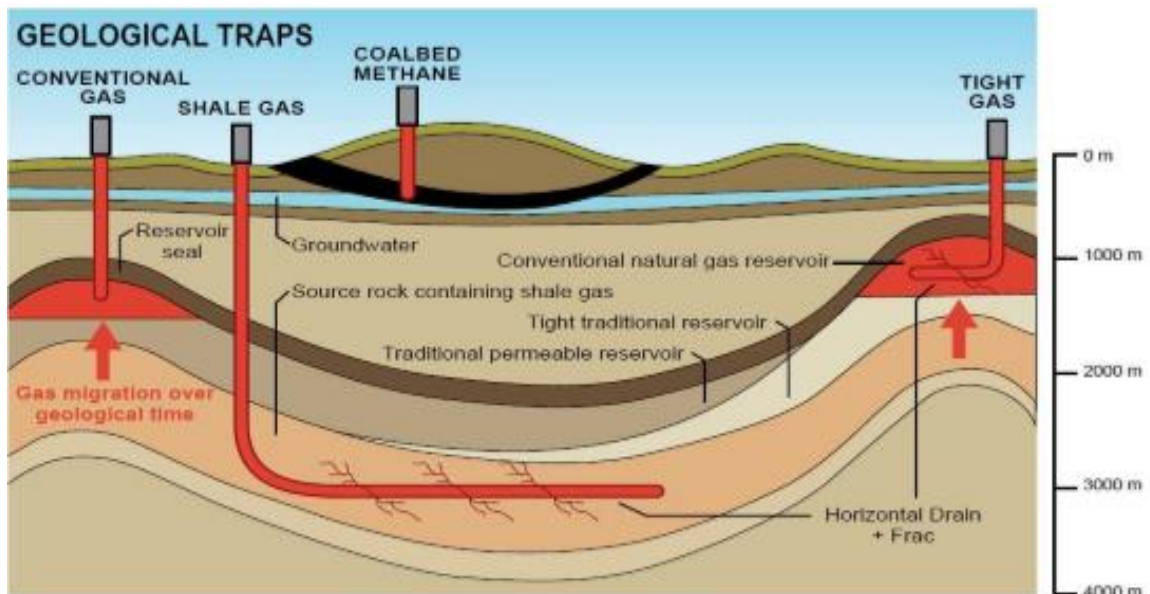
Στην κάτωθι εικόνα (Εικόνα 1-2) παρουσιάζεται η λεγόμενη πυραμίδα απεικόνισης των δυνητικών πόρων για το φ.α.. Ο John Masters (1979) διέδωσε πρώτος την ιδέα της πυραμίδας για την απεικόνιση των ταμιευτήρων φ.α.. Στην εν λόγω πυραμίδα κατατάσσονται οι διάφοροι ταμιευτήρες φ.α. με βάση τις τιμές κρίσιμων ιδιοτήτων τους και της διαπερατότητας τους. Στην κορυφή της πυραμίδας βρίσκονται οι συμβατικοί ταμιευτήρες. Είναι υψηλότερης ποιότητας επειδή παρουσιάζουν υψηλή διαπερατότητα (μεγαλύτερες από 10 mD) και η ανάπτυξη και εκμετάλλευσή τους γίνεται με συμβατικές μεθόδους εκμετάλλευσής και παραδοσιακή τεχνολογία. Οι μη συμβατικοί ταμιευτήρες βρίσκονται κάτω από τους συμβατικούς ταμιευτήρες στην πυραμίδα. Όσο προχωράμε προς τη βάση της πυραμίδας, οι τιμές της διαπερατότητας του ταμιευτήρα μειώνονται, οι εκτιμώμενοι δυνητικοί πόροι αυξάνονται απαιτώντας ωστόσο, παράλληλα την εφαρμογή περισσότερων καινοτόμων τεχνολογιών. Σημειωτέον, συναρτήσει των προαναφερθέντων αυξάνεται αυξάνεται το κόστος παραγωγής και το ύψος της απαιτούμενης επένδυσης για την ανάπτυξη του κοιτάσματος. Αν και παρουσιάζουν μεγαλύτερα επί τόπου εκτιμώμενα αποθέματα από την πλευρά των GIIP (Gas Initial In Place), αυτή τη στιγμή έχουν αξιολογηθεί ως ανακτήσιμα και εμπορικά εκμεταλλεύσιμα κυρίως στην Βόρεια Αμερική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°. Μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου



Εικόνα 1-2: Πυραμίδα απεικόνισης δυνητικών πόρων φυσικού αερίου (συμβατικού και μη) (Holditch, 2006).

Στην Εικόνα 1-3 παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ των ταμιευτήρων συμβατικού και μη συμβατικού φ.α. (περιλαμβάνονται το σχιστολιθικό αέριο, το έγκλειστο αέριο και το μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων) καθώς και οι διαφορές στις τεχνικές εξόρυξης τους.



Εικόνα 1-3: Διαφορές συμβατικών και μη συμβατικών ταμιευτήρων φυσικού αερίου (Department of Mines and Petroleum).

Στον Πίνακα 1-2 συνοψίζονται οι διαφορές μεταξύ συμβατικών και μη συμβατικών ταμιευτήρων φ.α..

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Πίνακας 1-2: Διαφορές μεταξύ συμβατικού και μη συμβατικού αερίου

Συμβατικό φυσικό αέριο	Μη συμβατικό φυσικό αέριο
Συγκεντρώσεις σε σχηματισμούς μετρίου έως υψηλού πορώδους με επαρκή διαπερατότητα ώστε να επιτραπεί η ροή του αερίου στην παραγωγική γεώτρηση.	Αέριο σε σχετικά αδιαπέραστους σχηματισμούς (σχιστολιθικό αέριο, παγιδευμένο αέριο, CBM).
Η πίεση είναι η κύρια παράμετρος που επιτρέπει την ροή του αερίου.	Απαιτούνται τεχνητοί οδοί (ρωγματώσεις) για την εξόρυξη του αερίου.
Οριζόντιες ή κάθετες γεωτρήσεις.	Υδραυλική ρωγμάτωση και οριζόντιες γεωτρήσεις.
Παραγωγή από τον ταμιευτήρα.	Παραγωγή από μικρές ρωγμές και μικρούς πόρους.
Η διαπερατότητα και το πορώδες καθορίζουν τους ρυθμούς παραγωγής και την εκτιμώμενη τελική απόληψη.	Ο συνολικός οργανικός άνθρακας, η θερμοκή ωριμότητα και η ορυκτολογία καθορίζουν τον ταμιευτήρα.
Μία γεώτρηση ανά 10 km ²	Απαιτήση μεγάλου αριθμού γεωτρήσεων

1.3. Τύποι μη συμβατικού φυσικού αερίου

1.3.1. Shale Gas - Σχιστολιθικό αέριο

Το σχιστολιθικό αέριο είναι το φ.α. που παράγεται από ιζηματογενή λεπτόκοκκα πετρώματα, πλούσια σε οργανική ύλη, τους σχιστόλιθους. Οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί λειτουργούν συγχρόνως και ως μητρικό πέτρωμα και ως ταμιευτήρας. Από την πλευρά της χημικής σύστασης του, το σχιστολιθικό αέριο είναι ξηρό αέριο που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (τουλάχιστον 90% μεθάνιο) αν και ορισμένοι σχηματισμοί παράγουν και συμπύκνωμα (όπως οι σχηματισμοί Antrim και New Albany plays στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής). Το σχιστολιθικό αέριο αποθηκεύεται ως ελεύθερο αέριο στους πόρους του πετρώματος και στα συστήματα φυσικών ρωγμών, ενώ ως προσροφημένο αποθηκεύεται στην οργανική ύλη και στις επιφάνειες αργιλικών, κυρίως, ορυκτών (Das, 2012). Η χαμηλή διαπερατότητα του σχιστόλιθου, αναστέλλει σημαντικά τη μετανάστευση του αερίου σε πιο περατά πετρώματα - ταμιευτήρες. Χωρίς τις οριζόντιες γεωτρήσεις και την υδραυλική ρωγμάτωση, η παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου δεν θα καθίστατο οικονομικά εφικτή (Zendehboudi&Bahadori, 2016).

Εκτενής αναφορά στα χαρακτηριστικά του σχιστολιθικού αερίου γίνεται στο Κεφάλαιο 2.

1.3.2. Tight Gas – Έγκλειστο αέριο

Ένα άλλο είδος μη συμβατικού φ.α. είναι το λεγόμενο έγκλειστο αέριο, το οποίο παγιδεύεται σε υπεδαφικούς σχηματισμούς πολύ χαμηλής διαπερατότητας, ψαμμιτικής ή ασβεστολιθικής σύστασης, καθιστώντας την εξόρυξη του πολύ δύσκολη. Πιο συγκεκριμένα, ταμιευτήρες έγκλειστου αερίου έχουν διαπερατότητα ίση ή μικρότερη από 0,1 mD και πορώδες ίσο ή μικρότερο από 10%. Το εν λόγω αέριο, συνήθως βρίσκεται σε βάθη που κυμαίνονται από 1500 m έως 3500 m κάτω από την επιφάνεια της γης.

Οι ταμιευτήρες του έγκλειστου αερίου σχηματίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως του συμβατικού αερίου: το πέτρωμα μέσα στο οποίο μεταναστεύει το αέριο από το μητρικό πέτρωμα, έχει πολύ χαμηλή διαπερατότητα. Γι' αυτό και η εξόρυξη του έγκλειστου αερίου είναι πολύ δύσκολη και δαπανηρή, με συνέπεια να απαιτείται η διέγερση του ταμιευτήρα με τις τεχνικές της ρωγμάτωσης (fracturing) ή της οξίνισης (acidizing), έτσι ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική ροή του αερίου προς τις γεωτρήσεις παραγωγής. Η τεχνική της οξίνισης περιλαμβάνει την έγχυση ενός οξέος (συνήθως υδροχλωρικό οξύ) μέσα στη γεώτρηση, για να διαλυτοποιήσει το πέτρωμα (tight rock), με σκοπό την απεμπλοκή του φ.α. από αυτό και την διευκόλυνση της ροής του προς τις γεωτρήσεις παραγωγής (Zendehboudi&Bahadori, 2016).

1.3.3. Coalbed Methane (CBM) - Μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα

Το CBM, γνωστό και ως αέριο από φλέβα γαιάνθρακα στην Αυστραλία, είναι ένα άλλο είδος μη συμβατικού φ.α. το οποίο εμφανίζεται σε στρώματα γαιάνθρακα. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (περισσότερο από 95%) αλλά και από μικρές ποσότητες από βαρύτερους αέριους υδρογονάνθρακες και από άλλες αέριες ενώσεις όπως N₂ και CO₂. Το μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα παραμένει εγκλωβισμένο υπόγεια και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα όταν ξεκινήσουν να λαμβάνουν χώρα δραστηριότητες για την εξόρυξη του γαιάνθρακα. Το CBM δεν μεταναστεύει από τον σχιστόλιθο αλλά παράγεται κατά τη μετατροπή του οργανικού υλικού σε άνθρακα. Εν προκειμένω, τα στρώματα γαιάνθρακα αποτελούν συγχρόνως και το μητρικό πέτρωμα και τον ταμιευτήρα για το φ.α. (Εικόνα 1-5). Βρίσκεται σε βάθη που κυμαίνονται από 800 m-1200 m αλλά μερικοί σχηματισμοί μπορεί να βρεθούν σε μικρά βάθη λίγων εκατοντάδων μέτρων. Η παραγωγή του CBM συνοδεύεται από παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων νερού (Zou, 2013).

Η όρυξη και η ολοκλήρωση των γεωτρήσεων για την παραγωγή CBM διαρκεί συνήθως από τρεις μέρες μέχρι τρεις βδομάδες. Ο χρόνος ποικίλλει ανάλογα με το βάθος του φρέατος, τη

γεωλογία της περιοχής και το είδος του γεωτρύπανου που θα χρησιμοποιηθεί. Οι γεωτρήσεις επενδύονται με κατάλληλη σωλήνωση ώστε να απομονώνονται από τον υδροφόρο ορίζοντα. Όταν τεθεί σε λειτουργία, μία γεώτρηση παραγωγής CBM μπορεί να παράγει για 10 με 20 χρόνια.

Το μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα, έχει χρησιμοποιηθεί ως πηγή φ.α. εδώ και δεκαετίες, κυρίως στις ΗΠΑ, την Αυστραλία και τον Καναδά. Ωστόσο η πλειοψηφία από τα $143 \times 10^{12} \text{ m}^3 - \text{Tcm}$ (5049 Tcf) παγκοσμίως παραμένουν ανεκμετάλλευτα. Μέχρι σήμερα, οι συμβατικές πηγές φ.α. και η πρόσφατη έκρηξη παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ έχουν περιορίσει την εκμετάλλευση του CBM.

Παραδοσιακά το CBM θεωρείτο «ενοχλητικό» στη βιομηχανία εξόρυξης γαιάνθρακα. Μόλις κατασκευαστεί το μεταλλείο και αρχίσει να εξορύσσεται ο γαιάνθρακας, το μεθάνιο που περιέχεται στο κοίτασμα ξεκινά συνήθως από μόνο του να διαρρέει προς το μεταλλείο. Στο παρελθόν το μεθάνιο που συγκεντρώνονταν σε κάποιο μεταλλείο γαιάνθρακα οδηγείτο μέσω του συστήματος εξαερισμού στην ατμόσφαιρα. Ιστορικά, η απελευθέρωση του μεθανίου κατά τη διάρκεια εξόρυξης του γαιάνθρακα, αποτελούσε σοβαρό κίνδυνο για την ασφάλεια των εργαζομένων, έτσι ώστε η εξόρυξη φ.α. από κοιτάσματα γαιάνθρακα παρέχει ένα μέσο όχι μόνο για την βελτίωση των συνθηκών ασφάλειας όσο αναφορά την μελλοντική λειτουργία των ορυχείων, αλλά επιτρέπει την πρόσβαση σε έναν υψηλής ποιότητας πόρο φ.α. (Amott, Garlick, & Andrews, 2016).



Εικόνα 1-4: Μετακίνηση από τον συμβατικό ψαμμίτη στην μη συμβατική κατηγοριοποίηση του σχιστόλιθου, έγκλειστου ψαμμίτη και CBM (Ahmed, Meehan, & Hughes, 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°. Μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου

Συμπερασματικά στον ακόλουθο πίνακα 1-3, παρουσιάζονται τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά των τύπων μη συμβατικού φ.α. που περιγράφηκαν προηγουμένως και των ταμιευτήρων που τα περιέχουν.

Πίνακας 1-3: Είδη μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου

Είδη μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου			
Χαρακτηριστικά	Σχιστολιθικό Αέριο (Shale Gas)	Έγκλειστο Αέριο (Tight Gas)	Μεθάνιοαπόστρώματα γαιάνθρακα (Coal-bedMethane, CBM)
Τοποθεσία	Κοντά στο κέντρο καθίζησης της λεκάνης	Κέντρο της λεκάνης	Κατανομή σε ανώτερα στρώματα ηπειρωτικών χωρών (Distribution area of continental higher plants)
Πορώδες	< 4-6%	Λιγότερο από 10%	Λιγότερο από 10%
Διαπερατότητα ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	< 0,001-2 x 10^3	Μικρότερη από 1 - Χαμηλή κάθετη διαπερατότητα	Μικρότερη από 1
Διάταξη ταμιευτήρα-μητρικού πετρώματος	Μητρικό πέτρωμα, ταμιευτήρας και πέτρωμα κάλυμμα είναι μαζί	Άμεση ή παρακείμενη επαφή ταμιευτήρα-μητρικού πετρώματος	Μητρικό πέτρωμα, ταμιευτήρας και πέτρωμα κάλυμμα είναι μαζί
Τύπος αποθήκευτρου πετρώματος	Σχιστόλιθος	Ψαμμίτης	Γαιάνθρακας
Ρευστό	Ξηρό αέριο, προσροφημένο αέριο στην οργανική ύλη και στους πόρους και ελεύθερο αέριο στις ρωγμές	Ο κορεσμός του αερίου ποικίλει σημαντικά, είναι μικρότερος από 60%	Κυριαρχεί το προσροφημένο αέριο, αλλά υπάρχουν και μικρές ποσότητες ελεύθερου αερίου
Εμφάνιση	Διάχυτο και εμπλουτισμένο αέριο στις ρωγμές	Διαλυμένο αέριο στους πόρους και στην περιοχή των ρωγμών	Στις ρωγμές και στην περιοχή του καλύμματος
Ζητήματα κατά την εκμετάλλευση	Είναι απαραίτητη η υδραυλική ρωγμάτωση	Δεν επιτυγχάνεται ροή χωρίς ρωγματώσεις, φυσικές ή τεχνητές	Φυσικές ρωγμές πληρωμένες με νερό και αέριο - Βασική πρόκληση η απομάκρυνση του νερού

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

1.4. Εκτίμηση αποθεμάτων

1.4.1. Ορισμοί

Για να καταστεί εφικτή η εκτίμηση των αποθεμάτων του συμβατικού και μη συμβατικού φ.α., είναι απαραίτητη η διασαφήνιση των εννοιών που έχουν οι όροι «πόροι (*resources*)» και «αποθέματα (*reserves*)».

Πόροι (*Resources*)

Οι εκτιμήσεις σχετικά με τους πόρους μη συμβατικού φ.α. παρέχονται για διαφορετικά επίπεδα χωρικής συγκέντρωσης (χώρα, περιοχή, ζώνη περιοχών, κοίτασμα, γεωτρήσεις) και αναφέρονται είτε στις ποσότητες φ.α. που εκτιμάται ότι υπάρχουν στο υπεδάφος, είτε στις ποσότητες φ.α. εντός του υπεδάφους που είναι τεχνικά ή οικονομικά απολήψιμες. Στην τελευταία περίπτωση, αυτές οι εκτιμήσεις εκφράζονται είτε με πιθανότητες, είτε με διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης (π.χ. πιθανά, δυνητικά αποθέματα). Ωστόσο, καθίσταται ανάγκη να δοθούν σαφείς ορισμοί και κατάλληλες ερμηνείες των όρων αυτών, ειδικά όταν συγκρίνονται διαφορετικές εκτιμήσεις από ποικίλες μελέτες.

Κατά τη μελέτη των ποσοτήτων μη συμβατικού φ.α., το μεγαλύτερο μέγεθος που δίνεται είναι τα αρχικά επί τόπου αποθέματα (*OGIP - Original Gas In Place*), το οποίο αποτελεί τον συνολικό όγκο φ.α. που εκτιμάται ότι βρίσκεται σε μια δεδομένη περιοχή, σχηματισμό ή πεδίο. Με τη σημερινή τεχνολογία, και χωρίς να λαμβάνονται υπόψη το κόστος εξόρυξης, οι τιμές του φ.α. και άλλα επενδυτικά κριτήρια, το ποσοστό του φ.α. που μπορεί να παραχθεί τεχνικά αναφέρεται ως τεχνικά απολήψιμοι πόροι (*TRR - Technically Recoverable Resources*). Το μέρος των τεχνικά απολήψιμων πόρων που μπορεί να παραχθεί οικονομικά με βάση τις παρούσες οικονομικές συνθήκες (π.χ. τιμή του φ.α.) αναφέρεται ως οικονομικά απολήψιμοι πόροι (*ERR-Economically Recoverable Resources*). Κι ως τελικά απολήψιμοι πόροι (*URR - Ultimately Recoverable Resources*) ορίζεται το συνολικό φ.α. που αναμένεται να ανακτηθεί από ένα κοίτασμα.

Αποθέματα (*Reserves*)

Τα αποθέματα συνιστούν υποσύνολο των πόρων. Ο ακριβής ορισμός των αποθεμάτων ποικίλει μεταξύ των διαφόρων πηγών, ωστόσο γενικά αποτελούν τμήμα των οικονομικά απολήψιμων πόρων που έχουν ήδη ανακαλυφθεί και τα οποία εμφανίζουν μια συγκεκριμένη πιθανότητα να παραχθούν. Υπάρχουν τρία επίπεδα εμπιστοσύνης που περιγράφουν τα αποθέματα:

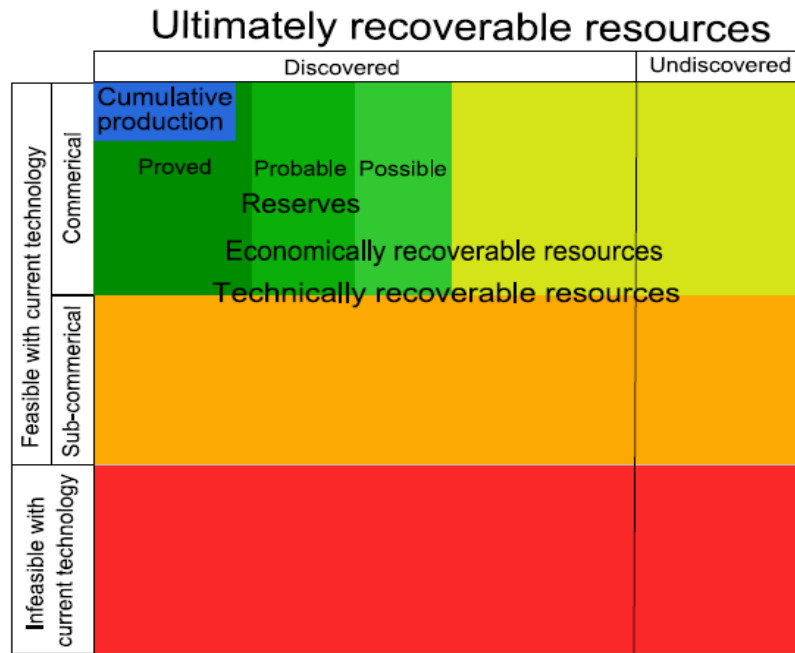
Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

- **Proved reserves (1P) - Βέβαια αποθέματα:** Τα βέβαια αποθέματα φ.α. αντιπροσωπεύουν τις ποσότητες φ.α. που μπορούν να παραχθούν με υφιστάμενες ή σχεδιαζόμενες γεωτρήσεις υπό τις παρούσες οικονομικές και τεχνικές συνθήκες, με βεβαιότητα ανάκτησης ίση με 90%. Αυτά είναι γνωστά και ως P90.
- **Proved and probable reserves (2P) - Βέβαια και πιθανά αποθέματα:** Τα βέβαια και πιθανά αποθέματα αντιπροσωπεύουν τις ποσότητες του φ.α. που έχουν πιθανότητα ανάκτησης ίση με 50%. Αυτά είναι γνωστά και ως P50.
- **Proved, probable and possible reserves (3P) - Βέβαια, πιθανά και δυνατά αποθέματα:** Αυτά αντιπροσωπεύουν τις ποσότητες φ.α. που έχουν πιθανότητα ανάκτησης ίση με 10%. Είναι γνωστά και ως P10 (McGlade, Speirs, & Sorrell, 2012).

Μια σύγκριση των διαφορετικών ορισμών που επεξηγήθηκαν παραπάνω παρουσιάζεται στον Πίνακα 1-4 και την Εικόνα 1-5 που ακολουθούν.

Πίνακας 1-4: : Ερμηνεία της ορολογίας που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των πόρων και των αποθεμάτων του μη συμβατικού φυσικού αερίου (McGlade, Speirs, & Sorrell, 2012).

Name	Short description	Includes gas in undiscovered formations	Includes gas not economically recoverable with current technology	Includes gas that is not recoverable with current technology	Includes gas that is not expected to become recoverable
Original gas in place	Total volume present	✓	✓	✓	✓
Ultimately recoverable resources	Total volume recoverable over all time	✓	✓	✓	
Technically recoverable resources	Recoverable with current technology	✓	✓		
Economically recoverable resources	Economically recoverable with current technology	✓			
1P/2P/3P reserves	Specific probability of being produced				



Εικόνα 1-5: Πόροι και Αποθέματα (Resources and Reserves) (McGlade, Speirs, & Sorrell, 2012).

1.4.2. Αποθέματα συμβατικού φυσικού αερίου

Οι βελτιώσεις στην τεχνολογία έρευνας και παραγωγής επέτρεψαν την αύξηση των βέβαιων αποθεμάτων φ.α. την τελευταία δεκαετία. Τα παγκόσμια βέβαια αποθέματα συμβατικού φ.α. εν γένει αυξάνονται κάθε χρόνο από το 1980, αλλά μειώσεις έχουν αναφερθεί για τέσσερα χρόνια (1995, 1996, 2005 και 2015). Από το 2006 (158,2 Tcm) μέχρι και το 2016 (186,6 Tcm) παρατηρείται συνεχής αύξηση των παγκόσμιων αποθεμάτων φ.α., με την μεγαλύτερη συνεισφορά να προέρχεται από την Ευρώπη και την Ευρασία καθώς το μερίδιο της αυξήθηκε κατά +3,4% ενώ της Μέσης Ανατολής να μειώθηκε κατά -3,4% (Εικόνα 1-7) (BP, 2017).

Το 2014, υπήρχαν βέβαια αποθέματα φ.α. 187,1 Tcm, το οποίο αποτελεί αύξηση κατά 19,5% σε σχέση με τα επίπεδα του 2004. Παρότι τα παγκόσμια αποθέματα αυξήθηκαν κατά 0,4% από το 2015 έως το 2016, η αύξηση αυτή ακολουθείται από μία μείωση κατά 1,5% από το 2014 έως το 2015 (EIA, 2016).

Την πρώτη θέση στα βέβαια αποθέματα φ.α. καταλαμβάνει η Μέση Ανατολή με 79,4 Tcm και με μερίδιο 42,5%, με κυρίαρχες χώρες το Ιράν (33,5 Tcm) και το Κατάρ (24,3 Tcm), ακολουθούμενη από τη Ρωσία, στη δεύτερη θέση, με 32,3 Tcm και με μερίδιο 17,3% και το Τουρκμενιστάν, στην τρίτη θέση, με 17,5 Tcm και με μερίδιο 9,4% (BP, 2017) (Πίνακας 1-5 και Εικόνα 1-6).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο. Μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου

Πίνακας 1-5: Παγκόσμια βέβαια αποθέματα συμβατικού φυσικού αερίου (BP, 2017).

Total proved reserves

	At end 1996	At end 2006	At end 2015	At end 2016			
	Trillion cubic metres	Trillion cubic metres	Trillion cubic metres	Trillion cubic metres	Trillion cubic feet	Share of total	R/P ratio
US	4.7	6.0	8.7	8.7	307.7	4.7%	11.6
Canada	1.9	1.6	2.2	2.2	76.7	1.2%	14.3
Mexico	1.8	0.4	0.2	0.2	8.6	0.1%	5.2
Total North America	8.5	8.0	11.1	11.1	393.0	6.0%	11.7
Argentina	0.6	0.4	0.4	0.4	12.4	0.2%	9.2
Bolivia	0.1	0.7	0.3	0.3	9.9	0.2%	14.2
Brazil	0.2	0.3	0.4	0.4	13.1	0.2%	15.8
Colombia	0.2	0.1	0.1	0.1	4.4	0.1%	11.9
Peru	0.2	0.3	0.4	0.4	14.1	0.2%	28.5
Trinidad & Tobago	0.5	0.5	0.3	0.3	10.6	0.2%	8.7
Venezuela	4.1	4.7	5.7	5.7	201.3	3.1%	166.3
Other S. & Cent. America	0.1	0.1	0.1	0.1	2.2	*	26.7
Total S. & Cent. America	6.0	7.2	7.7	7.6	268.0	4.1%	42.9
Azerbaijan	n/a	0.9	1.1	1.1	40.6	0.6%	65.8
Denmark	0.1	0.1	†	†	0.5	*	2.9
Germany	0.2	0.1	†	†	1.2	*	5.3
Italy	0.3	0.1	†	†	1.2	*	6.6
Kazakhstan	n/a	1.3	1.0	1.0	34.0	0.5%	48.3
Netherlands	1.6	1.2	0.7	0.7	24.6	0.4%	17.4
Norway	1.5	2.3	1.9	1.8	62.3	0.9%	15.1
Poland	0.1	0.1	0.1	0.1	3.2	*	23.0
Romania	0.4	0.6	0.1	0.1	3.9	0.1%	12.0
Russian Federation	30.9	31.2	32.3	32.3	1139.6	17.3%	55.7
Turkmenistan	n/a	2.3	17.5	17.5	617.3	9.4%	261.7
Ukraine	n/a	0.7	0.6	0.6	20.9	0.3%	33.2
United Kingdom	0.8	0.4	0.2	0.2	7.3	0.1%	5.0
Uzbekistan	n/a	1.2	1.1	1.1	38.3	0.6%	17.3
Other Europe & Eurasia	0.2	0.2	0.2	0.2	7.2	0.1%	23.2
Total Europe & Eurasia	39.8	42.8	56.8	56.7	2002.0	30.4%	56.3
Bahrain	0.1	0.1	0.2	0.2	5.8	0.1%	10.5
Iran	23.0	26.9	33.5	33.5	1183.0	18.0%	165.5
Iraq	3.4	3.2	3.7	3.7	130.5	2.0%	*
Israel	†	†	0.2	0.2	5.5	0.1%	16.8
Kuwait	1.5	1.8	1.8	1.8	63.0	1.0%	104.2
Oman	0.6	1.0	0.7	0.7	24.9	0.4%	19.9
Qatar	8.5	25.5	24.3	24.3	858.1	13.0%	134.1
Saudi Arabia	5.7	7.1	8.4	8.4	297.6	4.5%	77.0
Syria	0.2	0.3	0.3	0.3	10.1	0.2%	79.1
United Arab Emirates	5.8	6.4	6.1	6.1	215.1	3.3%	98.5
Yemen	0.3	0.3	0.3	0.3	9.4	0.1%	365.8
Other Middle East	†	†	†	†	0.2	*	52.6
Total Middle East	49.2	72.6	79.4	79.4	2803.2	42.5%	124.5
Algeria	3.7	4.5	4.5	4.5	159.1	2.4%	49.3
Egypt	0.8	2.0	1.8	1.8	65.2	1.0%	44.1
Libya	1.3	1.4	1.5	1.5	53.1	0.8%	149.2
Nigeria	3.5	5.2	5.3	5.3	186.6	2.8%	117.7
Other Africa	0.8	1.2	1.1	1.1	39.3	0.6%	54.9
Total Africa	10.2	14.4	14.2	14.3	503.3	7.6%	68.4
Australia	1.3	2.3	3.5	3.5	122.6	1.9%	38.1
Bangladesh	0.3	0.4	0.2	0.2	7.3	0.1%	7.5
Brunei	0.4	0.3	0.3	0.3	9.7	0.1%	24.6
China	1.2	1.7	4.8	5.4	189.5	2.9%	38.8
India	0.6	1.1	1.3	1.2	43.3	0.7%	44.4
Indonesia	2.0	2.6	2.8	2.9	101.2	1.5%	41.1
Malaysia	2.4	2.5	1.2	1.2	41.3	0.6%	15.8
Myanmar	0.3	0.5	0.5	1.2	42.0	0.6%	63.0
Pakistan	0.6	0.8	0.5	0.5	16.0	0.2%	10.9
Papua New Guinea	†	†	0.1	0.2	7.4	0.1%	20.1
Thailand	0.2	0.3	0.2	0.2	7.3	0.1%	5.4
Vietnam	0.2	0.2	0.6	0.6	21.8	0.3%	57.6
Other Asia Pacific	0.4	0.4	0.3	0.3	9.8	0.1%	13.7
Total Asia Pacific	9.9	13.2	16.2	17.5	619.3	9.4%	30.2
Total World	123.5	158.2	185.4	186.6	6589.8	100.0%	52.5
of which: OECD	14.7	14.9	17.9	17.8	629.1	9.5%	13.9
Non-OECD	108.9	143.3	167.5	168.8	5959.7	90.5%	74.3
European Union	3.6	2.8	1.3	1.3	45.3	0.7%	10.8
CIS	30.9	37.6	53.6	53.6	1891.8	28.7%	70.1

*More than 500 years.

†Less than 0.05.

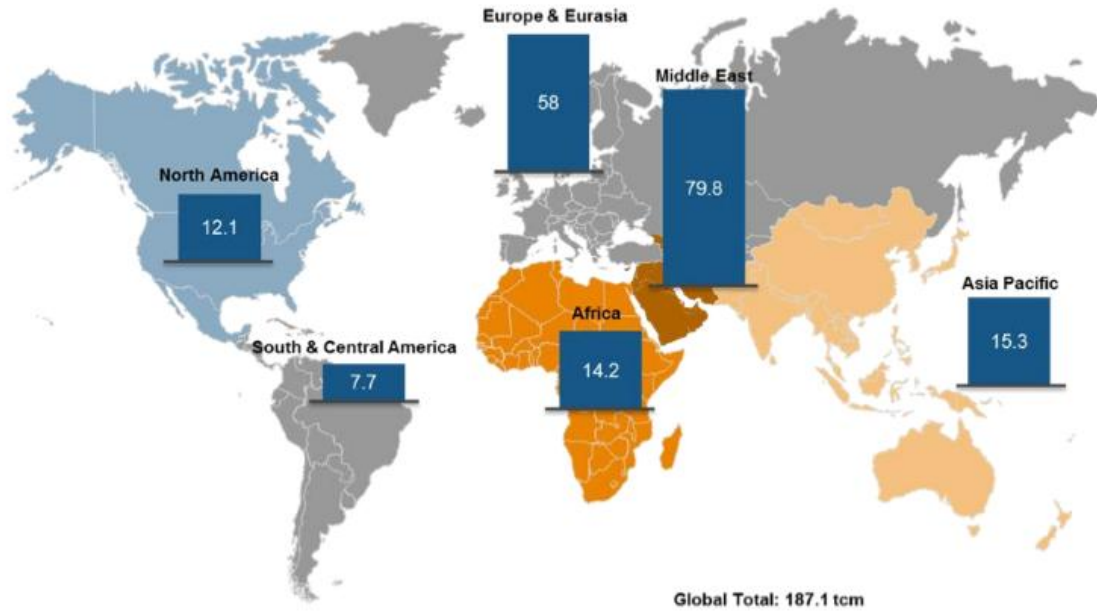
*Less than 0.05%.

n/a not available.

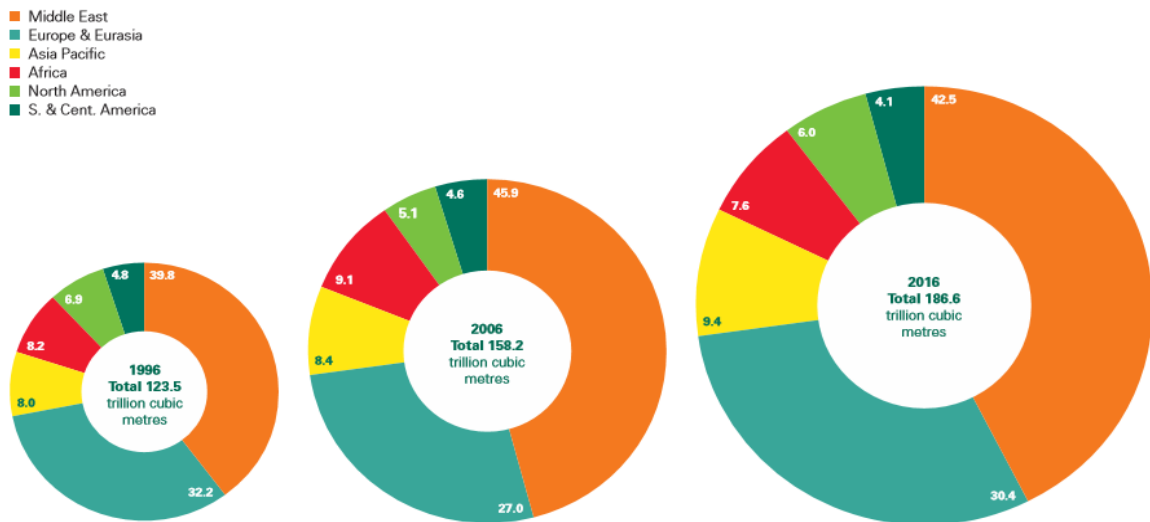
Notes: Total proved reserves of natural gas – Generally taken to be those quantities that geological and engineering information indicates with reasonable certainty can be recovered in the future from known reservoirs under existing economic and operating conditions. The data series for total proved natural gas reserves does not necessarily meet the definitions, guidelines and practices used for determining proved reserves at a company level, for instance as published by the US Securities and Exchange Commission, nor does it necessarily represent BP's view of proved reserves by country.

Reserves-to-production (R/P) ratio – If the reserves remaining at the end of any year are divided by the production in that year, the result is the length of time that those remaining reserves would last if production were to continue at that rate.

Source of data – The estimates in this table have been compiled using a combination of primary official sources and third-party data from Cedigaz and the OPEC Secretariat.



Εικόνα 1-6: Κατανομή των παγκόσμιων βέβαιων αποθεμάτων για το 2015 (World Energy Council, 2016).



Εικόνα 1-7: Κατανομή των παγκόσμιων βέβαιων αποθεμάτων φυσικού αερίου τα έτη 1996, 2006 και 2016 (BP, 2017).

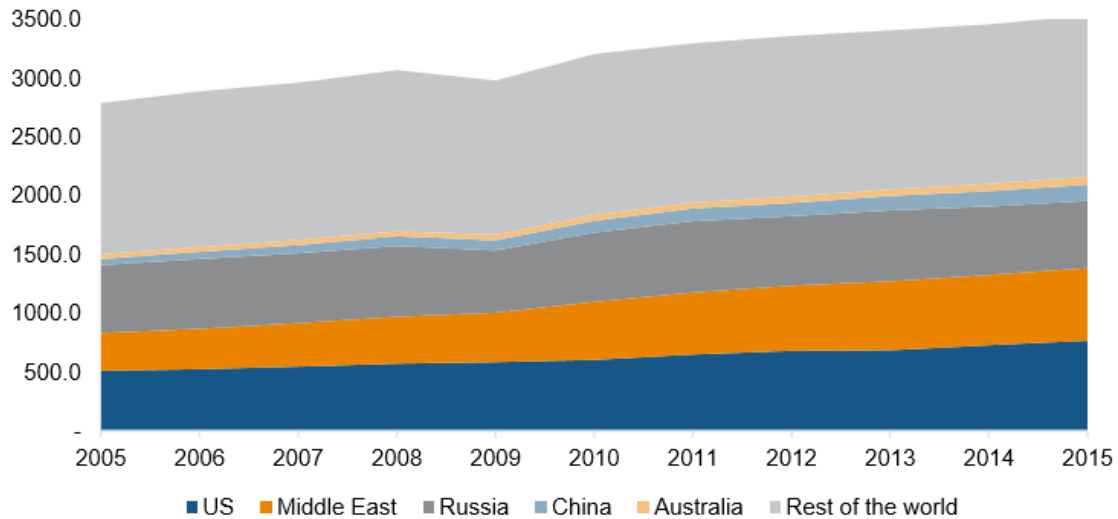
1.4.2.1. Παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου

Η παραγωγή φ.α. αυξήθηκε κατά μέσο όρο 3,3% από το 2009 έως το 2013, παρόλο την κατάρρευση των τιμών του πετρελαίου και του φ.α. το τελευταίο εξάμηνο του 2014, η αύξηση της παραγωγής επιβραδύνθηκε φθάνοντας τα 3538,6 Bcm το 2015, το οποίο

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

αποτελεί αύξηση κατά 2,2% σε σχέση με τα επίπεδα παραγωγής του 2014. Ωστόσο, αρκετές περιοχές όπως το Ιράκ (+13,5% το 2015), το Ηνωμένο Βασίλειο (+7,8% το 2015) και οι ΗΠΑ (+5,3% το 2015) σημείωσαν σημαντική αύξηση της παραγωγής φ.α. το 2015 (Εικόνα 1-8).

Οι μεγαλύτεροι παραγωγοί φ.α. παγκοσμίως είναι η Ρωσία (573,3 Bcm), οι Ηνωμένες Πολιτείες (767,3 Bcm), ο Καναδάς, το Κατάρ και το Ιράν.



Εικόνα 1-8: Παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου (Bcm) την περίοδο 2004-2015 (World Energy Council, 2016).

Το 2016, η παγκόσμια παραγωγή φ.α. ανήλθε σε 3613 Bcm, αύξηση κατά 0,8% συγκρίσει με το 2015. Η παραγωγή φ.α. αυξάνεται κάθε χρόνο μετά την οικονομική κρίση του 2009, ωστόσο η αύξηση το 2016 (+29,1 Bcm) είναι η μικρότερη σε αυτή την περίοδο (IEA, 2017).

Βόρειος Αμερική

Η Βόρεια Αμερική έχει σημειώσει σημαντική αύξηση της παραγωγής φ.α. λόγω της αύξησης του σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ. Η Βόρειος Αμερική παρήγαγε 984 Bcm φ.α. το 2015, το οποίο αντιπροσώπευε το 28,1% της παγκόσμιας παραγωγής φ.α. και ενώ σημείωσε αύξηση κατά 3,9% από το προηγούμενο έτος. Ενώ οι ΗΠΑ αποτέλεσαν την κυρίαρχη συνιστώσα για την εν λόγω αύξηση, η παραγωγή του Καναδά αυξήθηκε επίσης ελαφρώς κατά 0,9% σε 163,9 Bcm.

Ευρώπη

Η Ευρώπη παρήγαγε 132,4 Bcm φ.α. το 2015, το οποίο αποτελεί μείωση άνω του 9% από το 2014. Η παραγωγή μειώθηκε στην περιοχή την τελευταία δεκαετία, λόγω της έλλειψης επενδύσεων σε επιχειρήσεις Έρευνας και Παραγωγής (upstream). Οι μειώσεις ήταν κατά

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

μέσο όρο περίπου 5% ετησίως την τελευταία δεκαετία. Η παραγωγή φ.α. στην Νορβηγία, η οποία δεν περιλαμβάνεται στη συνολική παραγωγή της Ευρώπης, αυξήθηκε κατά 7,7% από το 2014 έως το 2015, φθάνοντας τα 117,2 Bcm το 2015.

Ρωσία

Από το 2013, η παραγωγή φ.α. στη Ρωσία έχει μειωθεί κατά 9,5%. Το 2015, η παραγωγή έφθασε τα 573,3 Bcm, σημειώνοντας μείωση κατά 1,5% σε σχέση με το 2014. Οι μειώσεις στην παραγωγή οφείλονται κατά κύριο λόγο σε οικονομικές κυρώσεις, πτώση των τιμών φ.α. και χαμηλότερη ζήτηση φ.α. παγκοσμίως

Μέση Ανατολή

Η Μέση Ανατολή σημείωσε σημαντική αύξηση της παραγωγής φ.α. τα τελευταία χρόνια και η τάση αυτή αναμένεται να συνεχιστεί, αν και, σε ελαφρώς βραδύτερο ρυθμό από ό, τι φαίνεται τα τελευταία πέντε χρόνια.. Η παραγωγή φ.α. αυξήθηκε από 495,6 Bcm το 2010 σε 599,1 Bcm το 2014, σημειώνοντας κατά μέσο όρο έναν εντυπωσιακό μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης της παραγωγής κατά 4,9% αυτή την περίοδο. Ο ρυθμός αύξησης της παραγωγής του έτους 2015 σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά του 2014, υποχώρησε από την παγκόσμια υπερπροσφορά, φθάνοντας το 3,1% ή 617,9 Bcm. Το Κατάρ, το Ιράν και η Σαουδική Αραβία είναι οι κύριοι παραγωγοί φ.α. στη Μέση Ανατολή και οι τρεις αναμένεται να συνεχίσουν να αυξάνουν την παραγωγή τους έως το 2020.

Αφρική

Η παραγωγή φ.α. στην Αφρική υποχώρησε το 2013 και 2014, φθάνοντας μόλις τα 208 Bcm φ.α. το 2014 ενώ σημείωσε ελαφρά άνοδο το 2015 για να φθάσει τα 211,8 Bcm το 2015. Η παραγωγή στην Αίγυπτο (ο μεγαλύτερος παραγωγός φ.α. στην Αφρική) και η Αλγερία μειώθηκαν κατά 2,7% για να φθάσουν τα 128,6 Bcm φ.α.. Η υποσαχάρια Αφρική αναμένεται να σημειώσει σημαντικές αυξήσεις της παραγωγής τις επόμενες δεκαετίες λόγω μεγάλων υπεράκτιων ανακαλύψεων κοντά στην Ανατολική Αφρική, και ιδιαίτερα στη Μοζαμβίκη και την Τανζανία.

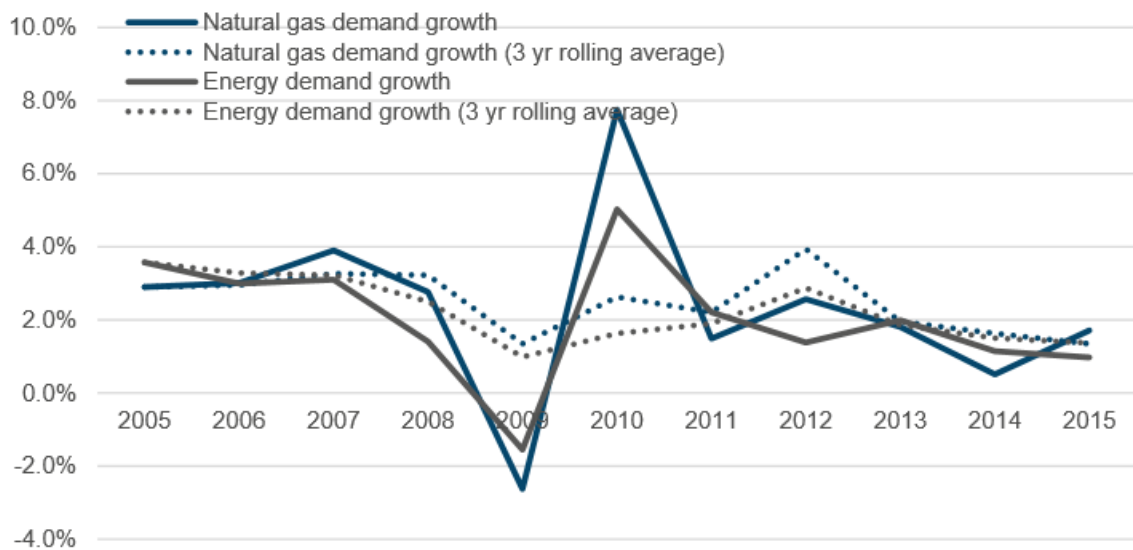
Ασία

Η Ασία παρήγαγε 556,7 Bcm φ.α. το 2015, το οποίο αντιπροσωπεύει αύξηση 4,1% σε ετήσια βάση και ήταν πολύ υψηλότερη από τη μέση ετήσια αύξηση της παραγωγής κατά 1,8% από την περίοδο 2010-2014. Ένα μεγάλο μέρος αυτής της αύξησης προήλθε από την

Κίνα, όπου η παραγωγή αυξήθηκε κατά 6,8% ετησίως κατά μέσο όρο από το 2009-2015, φθάνοντας τα 138 Bcm το 2015.

1.4.2.2. Ζήτηση

Το 2015, η παγκόσμια κατανάλωση φ.α. αυξήθηκε κατά 1,7% στα 3468,6 Bcm, σημειώνοντας βελτίωση σε σχέση με τους ρυθμούς ανάπτυξης του 2014 αλλά σημαντική απόκλιση από το μέσο όρο των δέκα (10) ετών, ο οποίος ήταν 2,3% από το 2005 έως το 2015 (Εικόνα 1-9). Καθώς οι τιμές εισαγωγής μειώθηκαν σημαντικά το 2015, η κατανάλωση αυξήθηκε τόσο στην Ασία όσο και στην Ευρώπη. Ωστόσο, η ζήτηση για φ.α. παραμένει κάτω από τις προσδοκίες των σημαντικότερων περιοχών εισαγωγής λόγω της εξασθένησης της οικονομικής ανάπτυξης και του ισχυρού ανταγωνισμού από άλλα καύσιμα. Στις περιοχές με τα μεγαλύτερα αποθέματα φ.α., όπως η Μέση Ανατολή, η Αφρική και η Βόρεια Αμερική, η ζήτηση συνεχίζει να αυξάνεται ραγδαία ώστε να ανταποκριθεί στη νέα ζήτηση και ως υποκατάστατο του πετρελαίου και του άνθρακα στις μεταφορές.



Εικόνα 1-9: Ζήτηση ενέργειας και φυσικού αερίου την περίοδο 2005-2015 (BP, 2016).

Βόρεια Αμερική

Τα άφθονα αποθέματα φθινού φ.α. στη Βόρεια Αμερική ώθησαν την αύξηση της ζήτησης φ.α. στην περιοχή. Η κατανάλωση φ.α. αυξήθηκε σε ποσοστό 2,8% από το 2011 έως το 2014. Το 2015, η κατανάλωση αυξήθηκε κατά ποσοστό 1,9% , φθάνοντας σε 963,6 Bcm ενώ αντιπροσωπεύει το 28,1% της παγκόσμιας κατανάλωσης. Με τις χαμηλότερες τιμές του φ.α. που παρατηρήθηκαν πάνω από την τελευταία δεκαετία, το φ.α. αντικατέστησε σταθερά τον άνθρακα στον ενεργειακό τομέα. Ως αποτέλεσμα, το φ.α. αυξήθηκε, αντιπροσωπεύοντας το

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

31,5% της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας στη Βόρεια Αμερική το 2015 έναντι του 24,8% το 2005.

Ευρώπη

Η κατανάλωση φ.α. στην Ευρώπη ανήλθε σε 444 Bcm φ.α. το 2015, το οποίο αντιπροσωπεύει περίπου το 12,8% της κατανάλωσης φ.α. παγκοσμίως. Οι χαμηλότερες τιμές εισαγωγής οδήγησαν σε αύξηση της κατανάλωσης με ρυθμό 4,3% από το 2014 έως το 2015, αντιστρέφοντας τη μείωση της κατανάλωσης φ.α., η οποία είχε παρατηρηθεί από το 2010.

Ρωσία

Η κατανάλωση φ.α. στην Ρωσία ανήλθε σε 391,5 Bcm το 2015, το οποίο συνιστά μείωση κατά 5,0% σε σχέση με το 2014. Η κατανάλωση φ.α. μειώνεται συνεχώς από το 2011, με τη συνολική πτώση να φτάνει το 7,8% την περίοδο. Η εν λόγω μείωση οφείλεται στη μείωση της οικονομικής δραστηριότητας ως αποτέλεσμα των οικονομικών κυρώσεων και των χαμηλότερων τιμών των βασικών εμπορευμάτων (lower commodity prices). Το μερίδιο του φ.α. στο μείγμα πρωτογενούς ενέργειας μειώθηκε από 53,7% σε 52,8% από το 2014 έως το 2015, εκτοπισμένο από την παραγωγή άνθρακα, την υδροηλεκτρική και την πυρηνική παραγωγή.

Μέση Ανατολή

Η Μέση Ανατολή σημείωσε άνοδο της ζήτησης φ.α. το 2015, η οποία αυξήθηκε με ρυθμό 6,2% από το 2014, φθάνοντας σε 490,2 Bcm. Το Ιράν και η Σαουδική Αραβία αντιπροσώπευαν το 60,7% της συνολικής κατανάλωσης της Μέσης Ανατολής, με 191,2 Bcm και 106,4 Bcm αντίστοιχα. Το μερίδιο του φ.α. στο ενεργειακό μίγμα ήταν 49,9% το 2015. Η περιοχή σημείωσε σταθερή αύξηση από το 2010, με μέσο όρο 4,2% από το 2010 έως το 2015.

Αφρική

Στην Αφρική, η κατανάλωση φ.α. ανήλθε σε 135,5 Bcm το 2015. Από το 2002 έως το 2012, η ζήτηση αυξήθηκε με ρυθμό 5,8% ετησίως, αλλά υποχώρησε το 2013 και άρχισε να αυξάνεται ξανά το 2014. Το μερίδιο του φ.α. στην πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση στην Αφρική αυξήθηκε από 23,3% το 2004 σε 28% το 2015.

Ασία

Η κατανάλωση φ.α. στην Ασία αυξήθηκε κατά 0,5% σε ετήσια βάση, φθάνοντας στην τιμή των 701,1 Bcm το 2014, σημειώνοντας μεγάλη πτώση από τη μέση ετήσια αύξηση της

κατανάλωσης κατά 4,8% που επιτεύχθηκε την περίοδο 2010-2014. Το φ.α. εξακολουθεί να βρίσκεται στην τρίτη θέση, πίσω από τον άνθρακα και το πετρέλαιο σε σχέση με την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ασία και αντιπροσώπευε μόνο το 11,5% το 2015.

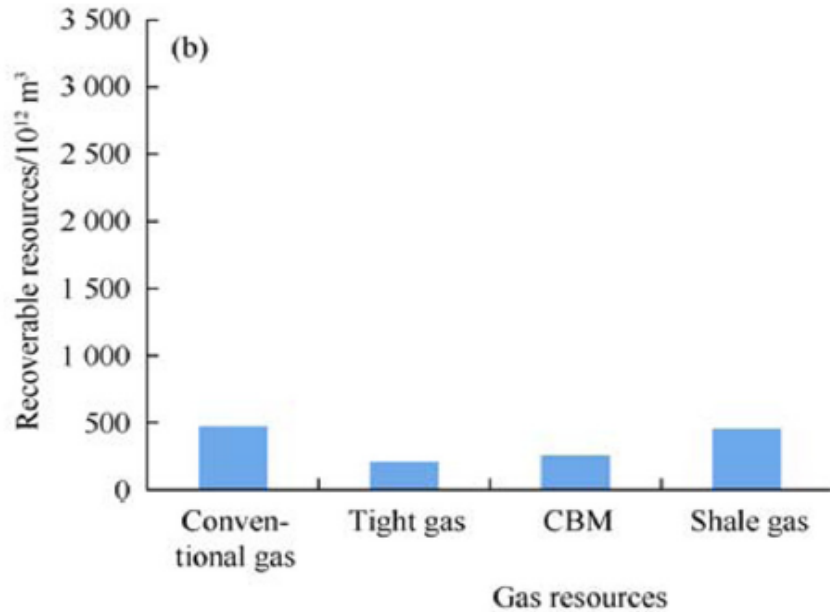
Η Κίνα είναι υπεύθυνη για ένα σημαντικό μέρος της ανάπτυξης κατά τη διάρκεια των δύο αυτών χρονικών περιόδων. Η κατανάλωση φ.α. στην Κίνα αυξήθηκε κατά 14,1% ετησίως κατά μέσο όρο από το 2010-2014, ενώ το 2015 η κατανάλωση ανήλθε σε 197,3 Bcm, αντιπροσωπεύοντας ετήσια αύξηση 4,7%.

Η κατανάλωση φ.α. στην Ινδία ήταν 61,9 Bcm το 2011 και 50,6 Bcm το 2015, το οποίο συνιστά μείωση κατά 18,2%. Παρόλο που η χώρα θεωρείται ως αγορά δυναμικής ανάπτυξης για το φ.α., η κατανάλωση σημείωνε πτωτική πορεία κάθε χρόνο από το 2011 έως το 2013, βαίνοντας ελαφρά αυξανόμενη το 2014, πριν υποχωρήσει το 2015. Η προσιτότητα (affordability) είναι η μεγαλύτερη πρόκληση για το φ.α. στην Ινδία, όπου ο άνθρακας κυριαρχεί στον ενεργειακό τομέα, και η ενεργειακή ισορροπία αποτελεί υψηλή προτεραιότητα για τους φορείς χάραξης πολιτικής (World Energy Council, 2016).

1.4.3. Αποθέματα μη συμβατικού φυσικού αερίου

Όπως προαναφέρθηκε, το μη συμβατικό φ.α. προέρχεται κυρίως από τρεις πηγές: το σχιστολιθικό αέριο το οποίο βρίσκεται στους χαμηλής διαπερατότητας σχιστολιθικούς σχηματισμούς, το έγκλειστο αέριο το οποίο βρίσκεται στους επίσης πολύ χαμηλής διαπερατότητας ψαμμιτικούς και ανθρακικούς σχηματισμούς και το μεθάνιο που περιέχεται σε στρώματα γαιάνθρακα (CBM). Έτσι, όλες οι εκτιμήσεις σχετικά με τα αποθέματα του μη συμβατικού φ.α. ανά τον κόσμο θα περιοριστούν σε αυτά τα τρία είδη φ.α..

Τα παγκόσμια ανακτήσιμα αποθέματα μη συμβατικού φ.α. εκτιμάται ότι ανέρχονται σε $4000 \times 10^{12} \text{ m}^3$ – Tcm (142 Bcf) , τα οποία περιλαμβάνουν τα αποθέματα έγκλειστου φ.α. ($210 \times 10^{12} \text{ m}^3$ – 7.416 Tcf), CBM ($256 \times 10^{12} \text{ m}^3$ – 9.040 Tcf) και σχιστολιθικού φ.α. τα οποία ανέρχονται σε $456 \times 10^{12} \text{ m}^3$ –16.103 Tcf (Εικόνα 1-10).



Εικόνα 1-10: Παγκόσμια ανακτήσιμα αποθέματα συμβατικού και μη συμβατικού φυσικού αερίου (Chengzao, 2017).

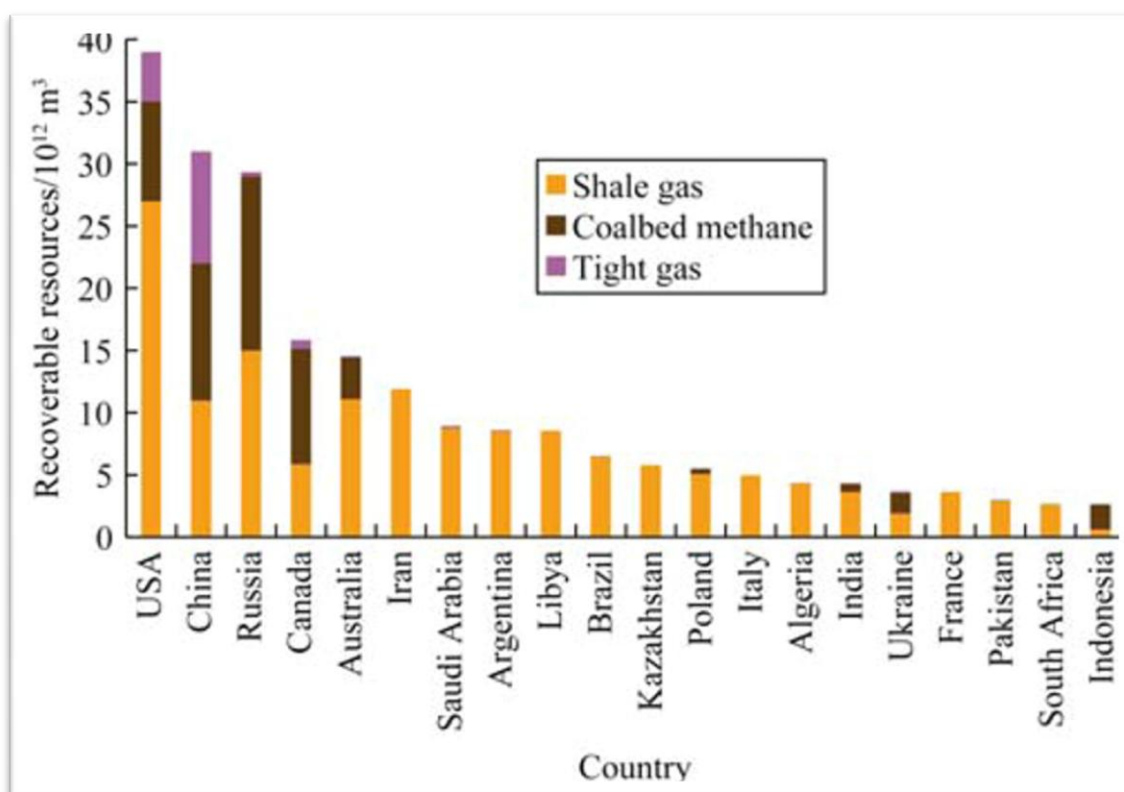
Πιο συγκεκριμένα, τα ανακτήσιμα αποθέματα μη συμβατικού φ.α. εντοπίζονται κυρίως σε 37 χώρες (Εικόνα 1-11, στις οποίες περιλαμβάνονται οι 10 χώρες με τα μεγαλύτερα αποθέματα συνολικά αποθέματα φ.α.: Ηνωμένες Πολιτείες, Κίνα, Ρωσία, Καναδάς, Αυστραλία, Ιράν, Σαουδική Αραβία, Αργεντινή, Λιβύη και Βραζιλία. Το σύνολο των αποθεμάτων των χωρών αυτών αντιπροσωπεύουν το 76,8% του συνόλου των παγκόσμιων αποθεμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, τα ανακτήσιμα αποθέματα μη συμβατικού φ.α. στις Ηνωμένες Πολιτείες (κυρίως σχιστολιθικό φ.α., CBM και έγκλειστο φ.α) είναι $39 \times 10^{12} \text{ m}^3$ –1.377 Tcf (17,4% του συνόλου των παγκόσμιων αποθεμάτων), στην Κίνα (κυρίως σχιστολιθικό φ.α, έγκλειστο φ.α. και CBM) είναι $31 \times 10^{12} \text{ m}^3$ – 1.094 Tcf (13,9% των παγκόσμιων αποθεμάτων), στη Ρωσία (κυρίως σχιστολιθικό φ.α. και CBM) είναι $29 \times 10^{12} \text{ m}^3$ – 1.024 Tcf (12,6% των παγκόσμιων αποθεμάτων), στον Καναδά (κυρίως CBM και σχιστολιθικό φ.α.) είναι $16 \times 10^{12} \text{ m}^3$ – 565 Tcf (7% των παγκόσμιων αποθεμάτων) και στην Αυστραλία είναι $16 \times 10^{12} \text{ m}^3$ – 565 Tcf (6,4% των παγκοσμίων αποθεμάτων). Το σχιστολιθικό φ.α. κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό των αποθεμάτων του μη συμβατικού φ.α. παγκοσμίως και ανέρχεται σε 71,1% και ακολουθούν το μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα με 21,7% και το έγκλειστο αέριο με 7%¹(Πίνακας 1-6).

¹ Εκτενής αναφορά της κατανομής των παγκόσμιων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 3.

Πίνακας 1-6: Εκτίμηση ανακτήσιμων αποθεμάτων μη συμβατικού φυσικού αερίου παγκοσμίως (Wang&Chengzao, 2016).

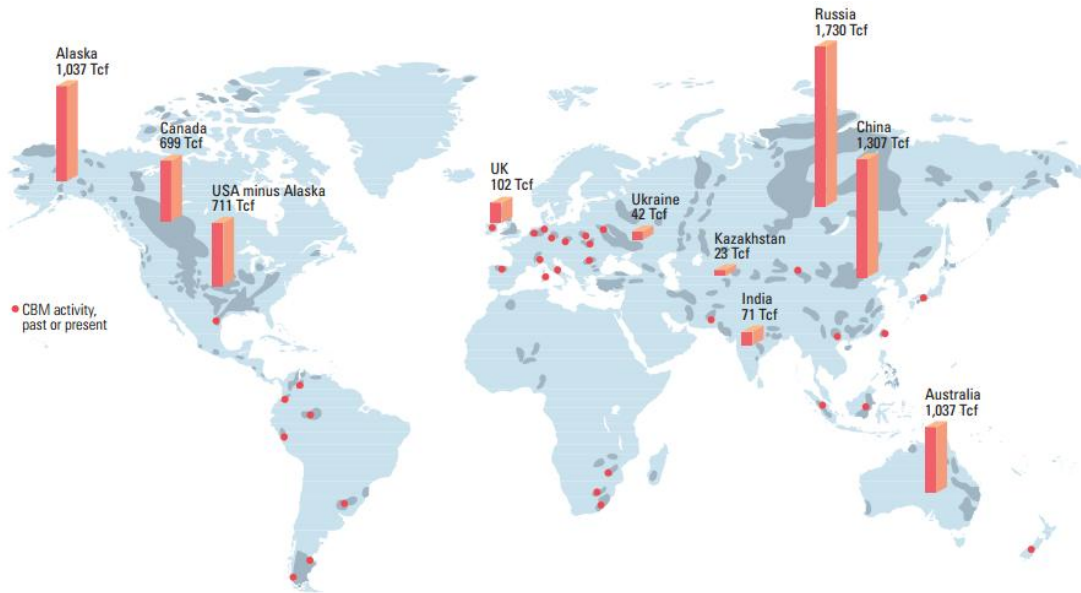
Region	Resources/10 ¹² m ³							
	Shale gas		Tight gas		Coalbed methane		Unconventional gas	
	Recoverable	Geological	Recoverable	Geological	Recoverable	Geological	Recoverable	Geological
North America	34	136	5	40	17	28	56	204
Asia	26	108	9	42	14	21	49	171
Russia	15	53	0	3	15	24	30	80
Middle East	21	94	0	2	0	0	21	96
Africa	19	73	0	0	0	0	19	73
South America	19	75	0	1	0	1	19	77
Europe	16	67	1	3	0	1	17	74
Oceania	11	44	2	4	3	6	16	51
Total	161	650	17	95	49	81	227	826



Εικόνα 1-11: Δυνητικά ανακτήσιμα αποθέματα μη συμβατικού φυσικού αερίου στις 20 κορυφαίες χώρες (Wang&Chengzao, 2016).

Τα μεγαλύτερα αποθέματα CBM εντοπίζονται στην Ρωσία, στις Ηνωμένες Πολιτείες (η Αλάσκα έχει κάνει δική της εκτίμηση σύμφωνα με την οποία διαθέτει 1.037 Tcf CBM), την Κίνα, Αυστραλία, τον Καναδά, το Ηνωμένο Βασίλειο την Ινδία, την Ουκρανία και το Καζακστάν. Από τις 69 χώρες με το μεγαλύτερο μέρος των αποθεμάτων CBM, στο 61% έχει

σημειωθεί κάποια μορφή έρευνας - δραστηριότητας δοκιμών ή παραγωγής CBM (Εικόνα 1-12).



Εικόνα 1-12: Αποθέματα CMB και δραστηριότητες έρευνας & εκμετάλλευσης των σχετικών κοιτασμάτων ανά τον κόσμο.

Σύμφωνα με την EIA (2016) εκτιμάται ότι στις Ηνωμένες Πολιτείες υπάρχουν 310 Tcf τεχνικός ανακτήσιμα αποθέματα έγκλειστου φ.α., το οποίο αντιπροσωπεύει πάνω από το 17% του συνολικά ανακτήσιμου φ.α. (Εικόνα 1-13). Παγκοσμίως, περισσότερο από 7.400 Tcf (210,000 Tcm) φ.α. εκτιμάται ότι θα περιέχονται μέσα σε ταμειυτήρες έγκλειστου φ.α., με ορισμένες εκτιμήσεις να φτάνουν σε 30,000 Tcf (850,00 Tcm) (Oil and Gas Journal, 2015).



Εικόνα 1-13:Εκτίμηση αποθεμάτων CBM στις Ηνωμένες Πολιτείες (USGS, 2014).

1.4.3.1. Παγκόσμια παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου

Ιστορικά, οι ταμειυτήρες συμβατικού φ.α., με ευνοϊκό πορώδες και διαπερατότητα, αποτελούσαν τις πιο πρακτικές και εύκολες επιλογές για την παραγωγή φ.α.. Ωστόσο με την τεχνολογική ανάπτυξη και την ολοένα αυξανόμενη απαίτηση της αγοράς, το μη συμβατικό φ.α. αποτελεί πλέον σημαντικό και διαρκώς αυξανόμενο ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής φ.α.. Το NETL (National Energy Technology Laboratory) σημειώνει ότι: «Στην πραγματικότητα, ο όρος «μη συμβατικό φ.α.» έχει χάσει την πρότερη του σημασία. Επί του παρόντος, το σχιστολιθικό φ.α., το έγκλειστο φ.α. και το φ.α. από στρώματα γαιάνθρακα αποτελούν το 65% της παραγωγής φ.α. στις Ηνωμένες Πολιτείες. Μέχρι το 2040, το ποσοστό αυτό αναμένεται να αυξηθεί έως το 79%. Το άλλοτε μη συμβατικό έχει γίνει πλέον συμβατικό.»

Ο ολοένα και πιο σημαντικός ρόλος του μη συμβατικού φ.α. στην παγκόσμια παραγωγή φ.α., γίνεται αντιληπτός από την εμπορική παραγωγή του έγκλειστου φ.α. (tight gas), του μεθανίου από στρώματα γαιάνθρακα (coalbed methane), αλλά, κυρίως, από τη ραγδαία αύξηση του σχιστολιθικού φ.α., η οποία προκλήθηκε από την επανάσταση στην παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

Η παγκόσμια παραγωγή μη συμβατικού φ.α. έφτασε τα 8227×10^8 cm (29 Tcf) το 2015, αντιπροσωπεύοντας το 23% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής φ.α. (EIA, 2015). Το μη

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

συμβατικό φ.α. (shale gas , tight gas, CBM) γίνεται ολοένα και πιο σημαντικό στην προσφορά φ.α. όχι μόνο στις ΗΠΑ, αλλά και στην Κίνα και τον Καναδά.

Η πρώτη σημαντική εξέλιξη (breakthrough) στην εμπορική παραγωγή μη συμβατικού φ.α. ήταν η παραγωγή του *έγκλειστου φ.α.*, η οποία πλέον έχει σταθεροποιηθεί. Το πεδίο Cauthage στις Ηνωμένες Πολιτείες, παρήγαγε σε καθημερινή βάση 340×10^4 cm το 1955 μετά από την τεχνητή ρωγμάτωση του κοιτάσματος με τη χρήση οξέων (acid fracturing) και αποτελούσε το μεγαλύτερο κοιτάσμα φ.α. στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1976. Η παραγωγή έγκλειστου φ.α. στις Ηνωμένες Πολιτείες υπερέβη τα 600×10^8 cm (2,11 Tcf) το 1990, τα 1000×10^8 cm (3,53 Tcf) το 1998 και έφτασε σε ένα μέγιστο της τάξης του 1300×10^8 cm (5 Tcf) το 2011. Εν συνεχεία η παραγωγή σταθεροποιήθηκε και ανήλθε σε 1200×10^8 cm (4,23 Tcf) το 2015. Οι ταμειυτήρες έγκλειστου φ.α. παράγουν 6 Tcf (170 Bcm) φ.α. ετησίως στις Ηνωμένες Πολιτείες, το οποίο αντιστοιχεί περίπου στο 25% του συνολικού φ.α. που παράγεται παγκοσμίως. Η εμπορική παραγωγή έγκλειστου φ.α. πραγματοποιείται επίσης στην Κίνα και τον Καναδά. Η παγκόσμια παραγωγή έγκλειστου φ.α. έφτασε το 2015 σε 2450×10^8 cm (8,65 Tcf).

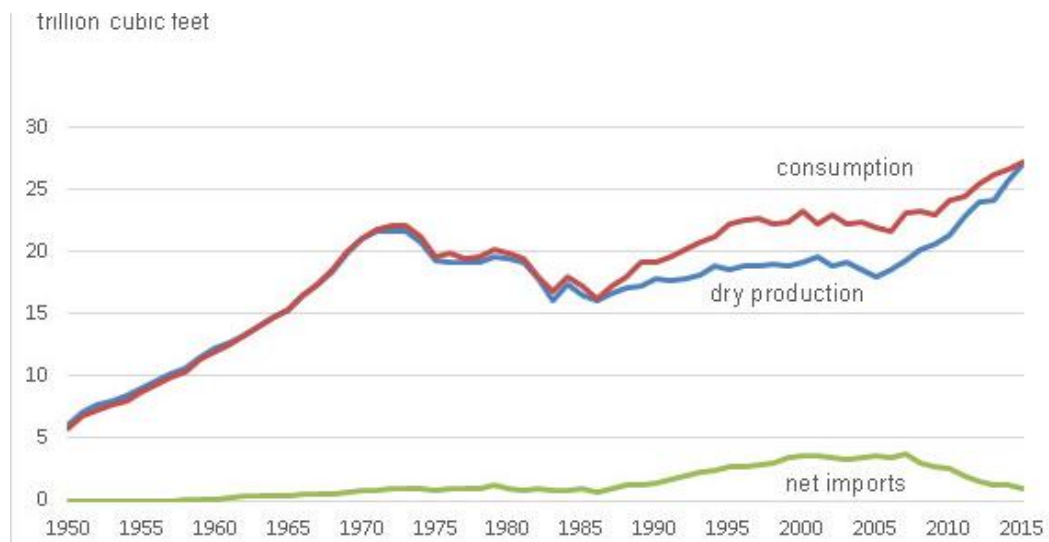
Όσον αφορά τα κοιτάσματα μη συμβατικού φ.α. σε μητρικά πετρώματα-ταμειυτήρες, **το μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα (CBM)** αποτελεί την πρώτη πηγή με εμπορική παραγωγή. Η ανάκτηση του φ.α. από στρώματα γαιάνθρακα υψηλής πίεσης ξεκίνησε στο San Juan Basin στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1950. Το 1980, οι Ηνωμένες Πολιτείες θέσπισαν τον νόμο Crude Oil Windfall Profit Tax Act, ο οποίος προώθησε σε μεγάλο βαθμό την παραγωγή του CBM. Το 1992, η παραγωγή του CBM στις Ηνωμένες Πολιτείες έφτασε τα 260×10^8 cm (920 Bcf). Εξ αιτίας της εφαρμογής των πολλαπλών κεκλιμένων γεωτρήσεων, η απόδοση κορυφώθηκε σε 507×10^8 cm (1790 Bcf) το 2008 και σε 280×10^8 cm (990 Bcf) το 2015. Εμπορική παραγωγή CBM πραγματοποιείται επίσης στην Αυστραλία, τον Καναδά και την Κίνα. Η παγκόσμια παραγωγή CBM έφτασε το 2015 σε 1000×10^8 cm (3,532 Bcf).

Η ιστορία της εμπορικής παραγωγής **σχιστολιθικού φ.α.** παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Το 1821, πραγματοποιήθηκε η πρώτη γεώτρηση για την όρυξη σχιστολιθικού φ.α. (onshore shale gas well) στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το 1914, ανακαλύφθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες το πρώτο πεδίο σχιστολιθικού φ.α., το λεγόμενο Big Sandy, και στη συνέχεια το 1981 ο George Mitchell, ο οποίος τιμήθηκε ως ο πατέρας του σχιστολιθικού φ.α., ανέπτυξε την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης για την αξιοποίηση του σχηματισμού Barnett. Εξ αιτίας της μαζικής παραγωγής από τους σχηματισμούς Antrim και Barnett, η παραγωγή του σχιστολιθικού φ.α. το 2000 έφτασε τα 230×10^8 cm (812 Bcf). Οι τεχνικές της οριζόντιας

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

γεώτρησης και της υδραυλικής ρωγμάτωσης εδραίωσαν την παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. το 2005. Λόγω της εκμετάλλευσης ορισμένων μεγάλων κοιτασμάτων σχιστολιθικού φ.α., συμπεριλαμβανομένων του σχηματισμού Marcellus, η παραγωγή έφτασε τα 4250×10^8 cm (15 Tcf) το 2015. Η παγκόσμια παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. έφτασε το 2015 σε 4693×10^8 cm (16,5 Tcf) (Chengzao, 2017).

Σημειώνεται ότι η παραγωγή φ.α. στις Η.Π.Α. σημείωσε την υψηλότερη τιμή της το 2015. Η αύξηση αυτή στην παραγωγή οφείλεται κυρίως στις τεχνικές της υδραυλικής ρωγμάτωσης και της οριζόντιας διάτρησης σε γεωλογικούς σχηματισμούς που περιέχουν φ.α. (shale & tight gas). Το 2015, η παραγωγή ξηρού φ.α. στις Ηνωμένες Πολιτείες ήταν ίση με περίπου 99% της κατανάλωσης του φ.α. στη χώρα αυτή (Εικόνα 1-14).



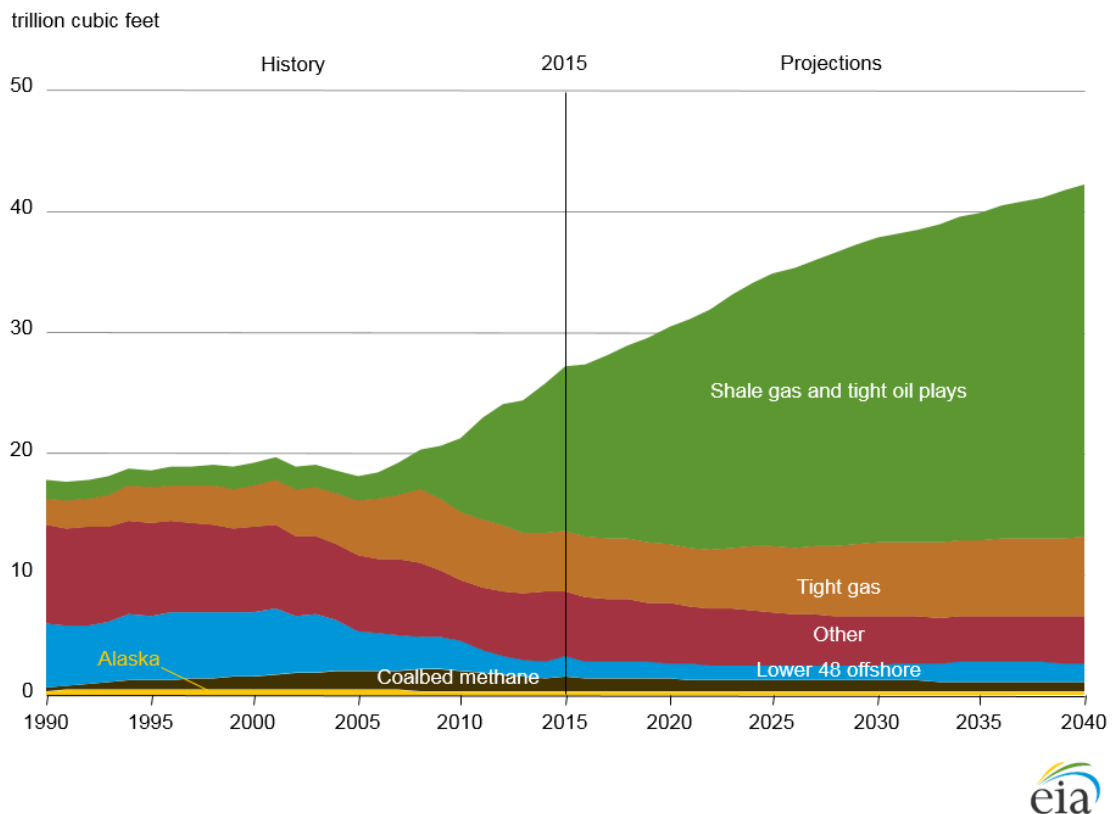
Εικόνα 1-14: Κατανάλωση και παραγωγή φυσικού αερίου στις Η.Π.Α. την περίοδο 1950-2015 (ΕΙΑ, 2016).

Σύμφωνα με την ΕΙΑ, το 2015 η ημερησία παραγωγή φ.α. σε παγκόσμιο επίπεδο, ανήλθε σε 342 Bcf/day, εκ των οποίων τα 42 Bcf/d προέρχονται από την παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. Επίσης, η ΕΙΑ, εκτιμά ότι περίπου 15.8 Tcf του ξηρού φ.α. παράγεται απευθείας από τα αποθέματα σχιστολιθικού και αργού πετρελαίου στις ΗΠΑ το 2016. Η ποσότητα αυτή αντιπροσωπεύει περίπου το 60% της συνολικής παραγωγής ξηρού φ.α. στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2016 (Εικόνα 1-15).

Επί του παρόντος, μόνο τέσσερις χώρες - Ηνωμένες Πολιτείες, Κίνα, Καναδάς και Αργεντινή - έχουν εμπορική παραγωγή σχιστολιθικού φ.α.

Στις **Ηνωμένες Πολιτείες**, η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου αντιπροσώπευε περισσότερο από το μισό της παραγωγής φ.α.. το 2015. Ο **Καναδάς** ήδη από το 2008 παράγει

σχιστολιθικό αέριο, φτάνοντας σε 4.1Bcf/d το 2015. Η **Κίνα** υπήρξε από τις πρώτες χώρες, εκτός της Βορείου Αμερικής, η οποία ανέπτυξε τους σχιστολιθικούς πόρους. Τα τελευταία πέντε έτη, η Κίνα πραγματοποίησε όρυξη περισσότερων από 600 φρεάτων σχιστολιθικού φ.α. και παρήγαγε 0.5 Bcf/d σχιστολιθικό αέριο έως το 2015. Η εμπορική παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην **Αργεντινή**, έφτασε μόλις τα 0.07 Bcf/d στο τέλος του 2015, αλλά οι εξωτερικές επενδύσεις στην παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου συνεχώς αυξάνονται. Σημειωτέον, η εθνική εταιρεία ενέργειας της Αργεντινής, Yacimientos Petroliferos Fiscales (YPF), η μεγαλύτερη εταιρεία της χώρας στον τομέα του σχιστόλιθου, ανέφερε ότι η παραγωγή τον Απρίλιο του 2015 ήταν 22.900 βαρέλια ανά ημέρα (b/d) του πετρελαίου και 67 εκατομμύρια κυβικά πόδια ημερησίως (MMcf/d) του φ.α. από τρεις κοινοπραξίες στην περιοχή VacaMuerta: η πρώτη με Chevron στο πεδίο Loma Campana, η δεύτερη με την Dow Chemical στο πεδίο El Orejano, και η τρίτη κοινοπραξία με την Petronas στο πεδίο La Chica Amarga. Η υποδομή αγωγών στην Αργεντινή είναι επαρκής για να υποστηρίξει τα τρέχοντα επίπεδα παραγωγής σχιστολιθικού αερίου, αλλά είναι απαραίτητη η επέκτασή τους καθώς η παραγωγή θα αυξάνεται (EIA, 2016).



Εικόνα 1-15: Παραγωγή φυσικού αερίου σύμφωνα με την υπόθεση αναφοράς το διάστημα 1990-2040 (EIA, 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°. Σχιστολιθικό Φυσικό Αέριο

2.1. Εισαγωγή

Το σχιστολιθικό φ.α. αποτελεί τύπο μη συμβατικού φ.α. το οποίο εντοπίζεται εντός σχιστολιθικού σχηματισμού, συνήθως πλούσιου σε οργανικό υλικό με εξαιρετικά χαμηλό πορώδες και διαπερατότητα. Το σχιστολιθικό φ.α. δεν είναι κάτι καινούριο, αλλά μόνο πρόσφατα έχει γίνει τόσο σημαντικό.

Σύμφωνα με τον μηχανισμό γένεσης, ο σχηματισμός σχιστολιθικού φ.α. χαρακτηρίζεται ως μια συνήθης συσσώρευση αερίων σε μια ευρεία περιοχή που χαρακτηρίζεται από αυτο-παραγωγή (self-generation) και αυτο-συντήρηση (self-preservation). Οι οργανικά πλούσιοι σχιστόλιθοι είναι μητρικά πετρώματα που λειτουργούν επίσης ως ταμιευτήρες και ως παγίδες. Εκτός από το τμήμα του πετρελαίου /φ.α. που παράγεται μεν από τον οργανικά πλούσιο σχιστόλιθο, μεταναστεύει δε προς άλλα διαπερατά πετρώματα, όπως ψαμμίτη ή ανθρακικά πετρώματα για να σχηματίσει έναν συμβατικό ταμιευτήρα πετρελαίου / φ.α., το μεγαλύτερο μέρος του φ.α. (περισσότερο από το 50% της παραγωγής υδρογονανθράκων) παραμένει παγιδευμένο σε συστήματα νανοπόρων και μικρορωγμών, από τα οποία δεν μπορεί να μεταναστεύσει, με αποτέλεσμα το μητρικό πέτρωμα να σχηματίζει και τον σχιστολιθικό ταμιευτήρα.

Το σχιστολιθικό φ.α. μπορεί να δημιουργηθεί σε κάθε στάδιο εξέλιξης της οργανικής ύλης, όπου έχουν σχηματιστεί βιογενές αέριο, θερμογόνο αέριο ή αέρια πυρόλυσης. Με το μεθάνιο να κυριαρχεί στη χημική του σύσταση (90% ή περισσότερο), το σχιστολιθικό φ.α. είναι συνήθως ξηρό αέριο και μόνο σε λίγες περιπτώσεις είναι υγρό αέριο (Zou, 2013).

2.2. Τι είναι ο σχιστόλιθος και το σχιστολιθικό αέριο;

2.2.1. Σχιστόλιθος

2.2.1.1. Σχιστόλιθος ως μητρικό πέτρωμα

Ο σχιστόλιθος είναι λεπτόκοκκο ιζηματογενές πέτρωμα, το οποίο σχηματίζεται από την συμπίεση ιλύος αργιλικών ορυκτών μεγέθους σωματιδίων, που κοινώς αποκαλείται λάσπη. Η σύνθεση αυτή τοποθετεί τον σχιστόλιθο σε μια κατηγορία ιζηματογενών πετρωμάτων, τα οποία ονομάζονται πηλίτες. Τα κύρια χαρακτηριστικά που διαχωρίζουν τον σχιστόλιθο από τους υπόλοιπους πηλίτες είναι η λεπτοστρωμάτωσή του (lamination) και η μεγάλη

σχιστότητα (fissile) που παρουσιάζει κατά μήκος των στρώσεων του (Εικόνα 2-1) (Geology.com).



Εικόνα 2-1:Τυπικό παράδειγμα λεπτοστρωμάτωσης σχιστολιθικού σχηματισμού (Norton Rose Fullbright, 2015).

Ο σχιστόλιθος θραυέται σε λεπτά κομμάτια με αιχμηρές άκρες. Εμφανίζεται σε ένα ευρύ φάσμα χρωμάτων που περιλαμβάνουν κόκκινο, καφέ, πράσινο, γκρι και μαύρο. Είναι το πιο κοινό ιζηματογενές πέτρωμα στη γη, καθώς το 55% των ιζηματογενών πετρωμάτων του γήινου φλοιού είναι σχιστολιθικά και εντοπίζεται σε ιζηματογενείς λεκάνες σε όλο τον κόσμο. Αποτελείται από ένα συνδυασμό από πηλό, διοξείδιο του πυριτίου (χαλαζία), ασβεστίτη ή δολομίτη και οργανικά υλικά. Κυρίως, όμως, είναι μια σύνθεση από μεγάλες ποσότητες κηρογόνου, το οποίο είναι ένα μίγμα οργανικών ενώσεων. Στη σύνθεσή του, επομένως, περιέχει κυρίως: κηρογόνο, χαλαζία, άργιλο, ασβεστίτη και πυρίτη. Το ουράνιο, ο σίδηρος, το βανάδιο, το νικέλιο και το μολυβδαίνιο είναι παρούσες ως δευτερεύοντα συστατικά του. Από αυτό το πέτρωμα εξάγονται οι σχιστολιθικοί υδρογονάνθρακες (υγρό πετρέλαιο και αέριο) (Spreight, 2013).

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 (Zou, 2013).

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες σχιστόλιθων, όπως: ο μαύρος σχιστόλιθος (black shale), ο ανθρακούχος σχιστόλιθος (carbonaceous shale), ο πυριτιούχος σχιστόλιθος (siliceous shale), ο σιδηρούχος σχιστόλιθος (ferruginous shale) και ο ασβεστούχος σχιστόλιθος (calcareous shale). Διάφοροι τύποι σχιστόλιθων απεικονίζονται στην Εικόνα 2-2. Ο μαύρος σχιστόλιθος είναι πλούσιος σε οργανική ύλη ενώ οι ανοιχτόχρωμοι σχιστόλιθοι περιέχουν πολύ λιγότερο

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ποσοστό οργανικών υλικών (1-2% ποσοστό οργανικών υλικών μόλις μπορεί να προσδώσει ένα σκούρο γκριζό χρώμα στο πέτρωμα). Ο μαύρος σχιστόλιθος σχηματίστηκε σε αποθέσεις, στις οποίες υπήρχε ελάχιστο ή και καθόλου οξυγόνο, όπως κλειστοί κόλποι, λιμνοθάλασσες, βαθιές λίμνες κλπ. (Zou, 2013). Το μαύρο χρώμα άλλωστε στα ιζηματογενή πετρώματα σχεδόν πάντα υποδεικνύει την παρουσία οργανικής ύλης και την απουσία οξυγόνου στο περιβάλλον στο οποίο έλαβε χώρα ο σχηματισμός του σχιστόλιθου (Zendehboudi&Bahadori, 2016).



Εικόνα 2-2: Σχηματική απεικόνιση ανοικτού και μαύρου σχιστολιθικού πετρώματος (Geology.com, 2017).

Ο μαύρος σχιστόλιθος (Εικόνα 2-3) περιλαμβάνει μεγάλες ποσότητες οργανικού υλικού, λεπτόκκοκου και διάσπαρτου πυρίτη και σιδηρίτη, 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 υδρογενής (authigenic) χαλαζίας ιζηματογενούς γένεσης. Μάλιστα ο συγκεκριμένος σχιστόλιθος με τον υδρογενή 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 σχιστόλιθων που μπορεί να κυριαρχείται από αργιλικά ορυκτά είναι εξαιρετικά μικρό (Zou, 2013).



Εικόνα 2-3:Μαύρος σχιστόλιθος (Geology.com, 2017).

Οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί Barnett, Marcellus, Haynesville, Fayetteville στις ΗΠΑ, όλοι σκούρου γκρι ή μαύρου χρώματος αποτελούν σχιστόλιθους που παράγουν φ.α.. Ο σχηματισμός Bakken της Βόρειας Ντακότα, όπως επίσης και ο Eagle Ford του Τέξας είναι παραδείγματα σχιστόλιθων, οι οποίοι παράγουν πετρέλαιο (Geology.com, 2017).

2.2.1.2. Ο σχιστόλιθος ως ταμιευτήρας

Προκειμένου να καταστεί κατανοητή η διαφοροποίηση των σχιστολιθικών ταμιευτήρων, θα παρουσιαστούν εν συντομία τα χαρακτηριστικά των συμβατικών πετρελαϊκών συστημάτων. Τα στοιχεία ενός συμβατικού πετρελαϊκού συστήματος συνοψίζονται κάτωθι:

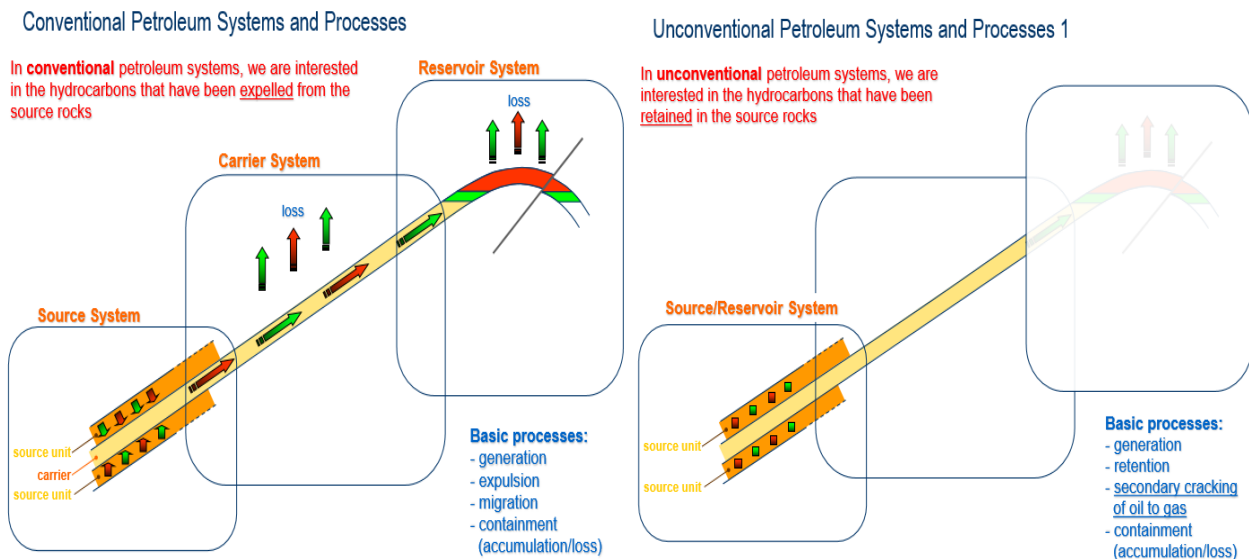
- ❖ *Μητρικό πέτρωμα (Source rock)* - όπου το πετρέλαιο και το φ.α. προέρχονται από τα οργανικά υλικά τα οποία περιέχονται στο πέτρωμα υπό υψηλή θερμοκρασία και πίεση.
- ❖ *Οδοί μετανάστευσης (Migration pathways)* - περιλαμβάνουν κανάλια πόρων (pore channels), ρήγματα και ρωγμές μέσω των οποίων το αέριο διαφεύγει από το μητρικό πέτρωμα στο πέτρωμα ταμιευτήρα. Οι κύριες κινητήριες δυνάμεις είναι η πίεση και η άνωση.
- ❖ *Αποθήκευτρο πέτρωμα (Reservoir rock)* - όπου αποθηκεύεται το πετρέλαιο και το φ.α. και εν συνεχεία παράγεται.
- ❖ *Πέτρωμα κάλυμμα (Seal rock)* - ένας αδιαπέρατος γεωλογικός σχηματισμός, ο οποίος αποτρέπει τη ροή του πετρελαίου και του φ.α. από τον ταμιευτήρα
- ❖ *Παγίδες (Traps)* – γεωλογικές δομές, είτε στρωματογραφικές είτε τεκτονικές ή σε συνδυασμό, οι οποίες παρέχουν την δυνατότητα παγίδευσης των υδρογονανθράκων σε τοπικό (χωρικό). Στα μη συμβατικά συστήματα δεν υφίσταται η έννοια των παγίδων.

- ❖ *Υπερκείμενο πέτρωμα (Overburden rock)* - προσδίδει την απαραίτητη πίεση για την συσσώρευση των οργανικά πλούσιων ιζημάτων και γεωλογικών σχηματισμών.

Οι διαδικασίες ενός συμβατικού πετρελαϊκού συστήματος είναι οι εξής:

- Γένεση - το πετρέλαιο δημιουργείται στο μητρικό πέτρωμα υπό κατάλληλες συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης πίεσης και θερμοκρασίας, σε μακρά περίοδο κατά τη γεωλογική χρονική κλίμακα.
- Μετανάστευση - το πετρέλαιο εξάγεται τελικά από το μητρικό πέτρωμα υπό πίεση και μεταναστεύει στον ταμιευτήρα υπό την επήρεια υδροδυναμικών και άλλων δυνάμεων.
- Συσσώρευση – πετρελαϊκά ρευστά συσσωρεύονται στους ταμιευτήρες κάτω από έναν κατάλληλο μηχανισμό παγίδευσης όπου το πέτρωμα κάλυμμα διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο.

Εν αντιθέσει, στα μη συμβατικά συστήματα η συσσώρευση του πετρελαίου είναι συνεχής σε μεγάλες εκτάσεις χωρίς να υφίσταται η ύπαρξη μίας παγίδας ή ενός πετρώματος καλύμματος, ώστε το μητρικό πέτρωμα να αποτελεί εν τέλει και τον ταμιευτήρα-αποθήκευτρο πέτρωμα (Εικόνα 2-4).



Εικόνα 2-4: Σύγκριση μεταξύ των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε συμβατικά και μη συμβατικά πετρελαϊκά συστήματα (Wygrala, 2012-2013)

Η ειδοποιός διαφορά των συμβατικών και των μη συμβατικών ταμιευτήρων βασίζεται στο ρόλο που διαδραματίζει το μητρικό πέτρωμα. Οι συμβατικοί ταμιευτήρες είναι πλήρως

διαχωρισμένοι από το μητρικό πέτρωμα λόγω του μηχανισμού της άνωσης (buoyancy-drive mechanism). Σύμφωνα με αυτόν, στις συμβατικές συσσωρεύσεις φ.α., οι σχιστόλιθοι αποτελούν το μητρικό πέτρωμα από το οποίο γεννώνται οι υδρογονάνθρακες και ακολούθως ενταφιάζονται σε μεγάλα βάθη. Κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου, αυτοί οι υδρογονάνθρακες μεταναστεύουν από το μητρικό πέτρωμα προς ανώτερους γεωλογικούς ορίζοντες και τελικά συσσωρεύονται σε πορώδεις σχηματισμούς (συνήθως ψαμμιτικούς ή ανθρακικούς) λόγω παγίδευσής τους κάτω από αδιαπέρατους σχηματισμούς. Οι παγίδες αυτές συνήθως αποτελούν τεκτονικές δομές που βρίσκονται στα περιθώρια των κέντρων λεκανών απορροής.

Ο σχιστόλιθος αποτελεί και το αποθήκευτρο και το μητρικό πέτρωμα. Ο πλούσιος σε οργανική ύλη σχιστόλιθος δεν αποτελεί μόνο το μητρικό πέτρωμα αλλά και τον αποθηκευτικό χώρο του φ.α.. Εν συντομία η δημιουργία και η συσσώρευση του σχιστολιθικού φ.α. περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- i. Ένα μέρος της οργανικής ύλης μετατρέπεται σε βιογενές μεθάνιο από την βιοχημική δράση μικροοργανισμών και το υπόλοιπο μετατρέπεται σε κηρογόνο υπό την επίδραση των συνθηκών της θερμότητας (*διαγένεση*),
- ii. Με την αύξηση του βάθους, αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία και το κηρογόνο σταδιακά μετατρέπεται σε υγρούς υδρογονάνθρακες και υγρό αέριο (*καταγένεση*) και
- iii. Τέλος το κηρογόνο αποικοδομείται σε θερμογόνο μεθάνιο και ξηρό αέριο και οι υγροί υδρογονάνθρακες μέσω της διαδικασίας της θερμικής πυρόλυσης μπορεί να μετατραπούν σε θερμογόνο ξηρό μεθάνιο (*μεταγένεση*).

Οι βασικές διεργασίες γένεσης του συμβατικού φ.α. και σχιστολιθικού φ.α. είναι σχεδόν όμοιες αλλά παρουσιάζουν τις εξής διαφορές:

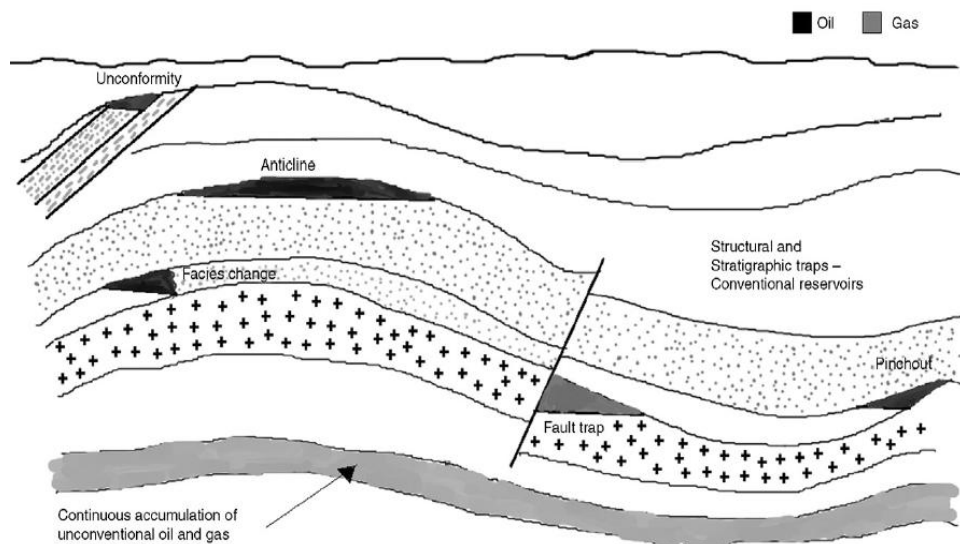
1. Το αέριο ξηρό μεθάνιο που προέκυψε από την θερμική διάσπαση των υγρών υδρογονανθράκων βρίσκεται κυρίως στο σχιστολιθικό φ.α. και
2. Το αέριο στους συμβατικούς ταμιευτήρες έχει μεταναστεύσει από το μητρικό πέτρωμα σε παγίδες που δημιουργούνται σε ψαμμιτικούς και ανθρακικούς γεωλογικούς σχηματισμούς και αποτελούν πλέον το αποθήκευτρο πέτρωμα.

Το φ.α. 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 φ.α. γίνεται μέσα στο πορώδες της θεμελιώδους μάζας και ως προσροφημένη φάση στο κηρογόνο της.

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

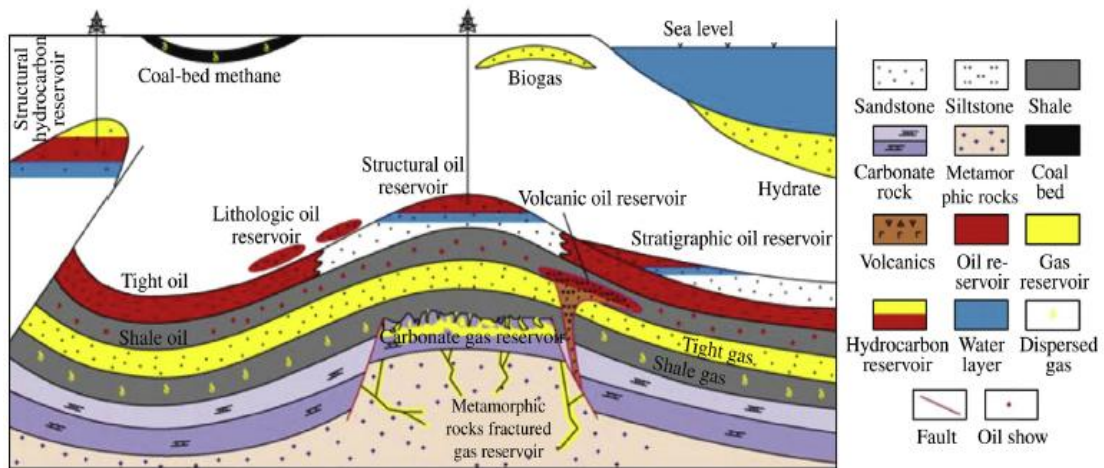
Μία ακόμα πολύ σημαντική διαφορά μεταξύ συμβατικών και σχιστολιθικών ταμιευτήρων είναι ότι στο σχιστόλιθο δεν απαιτείται η ύπαρξη μια σαφώς οριοθετημένης παγίδας (trap) και ενός πετρώματος καλύμματος (seal) για την συσσώρευση του φ.α. (Εικόνα 2-5). Στα συμβατικά κοιτάσματα φ.α., αφού έχει προηγηθεί η μετανάστευση του αερίου από το μητρικό πέτρωμα στον ταμιευτήρα, η συσσώρευση του αερίου στον ταμιευτήρα απαιτεί την ύπαρξη κατάλληλου μηχανισμού παγίδευσης και ενός πετρώματος - καλύμματος που διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο, καθώς αποτρέπει τη διαρροή ή τη μετανάστευση του αερίου από τον ταμιευτήρα.



Εικόνα 2-5: Απεικόνιση παγίδων συσσωρεύσεων πετρελαίου και φυσικού αερίου σε συμβατικούς ταμιευτήρες και προβολή συνεχής συσσώρευσης πετρελαίου και φυσικού αερίου σε σχιστολιθικό ταμιευτήρα (Iqbal & Satter, 2016).

Στην περίπτωση του σχιστολιθικού αερίου όλες οι προϋποθέσεις συνυπάρχουν μέσα στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό (σχιστόλιθο) σε ένα ενοποιημένο σύστημα αποθήκευσης – μητρικού πετρώματος. Η έκταση η οποία φέρει φ.α. 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 (GWC). Αυτό έχει 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 διατηρείται λόγω κυρίως της μεγάλης ποσότητας του αερίου το οποίο βρίσκεται ως προσροφημένη φάση στο κηρογόνο (Iqbal&Satter, 2016).

Συνεπώς, οι συμβατικοί ταμιευτήρες είναι συνήθως διακριτά πεδία (Εικόνα 2-6), ενώ οι σχιστολιθικοί ταμιευτήρες έχουν εκτεταμένα διάχυτα όρια και μεγάλη χωρική έκταση.



Εικόνα 2-6: Πρότυπο κατανομής συμβατικών και μη συμβατικών ταμιευτήρων (Ζου, 2013).

Επίσης, οι σχιστολιθικοί ταμιευτήρες είναι συνεκτικά πετρώματα, στα οποία έχουν επικρατήσει συστήματα νανο-πόρων. Ο σχιστολιθικός ταμιευτήρας κυριαρχείται από τον σκούρο, πλούσιο σε οργανική ύλη σχιστόλιθο. Σύμφωνα με διάφορες μελέτες (Loucks, Reed, Ruppel, &Jarvie, 2009), δύο μεγέθη πόρων έχουν αναπτυχθεί στον σχιστολιθικό ταμιευτήρα: οι μικροπόροι, των οποίων η διάμετρος είναι πάνω από 0,75μm και οι νανοπόροι των οποίων η διάμετρος είναι κάτω από 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 $2 \times 10^{-9} \mu\text{m}^2$. Οι πόροι του σχιστόλιθου ισούνται περίπου με τη διάμετρο 40

μορίων μεθανίου (η διάμετρος του κάθε μορίου είναι 0,38nm). Το πορώδες στο σχιστόλιθο γενικά κυμαίνεται μεταξύ 4-10% και η διαπερατότητα μεταξύ $50-1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

Τέλος, στους σχιστολιθικούς ταμιευτήρες το φ.α. κατανέμεται συνεχώς σε μεγάλη έκταση και χαρακτηρίζεται από μεγάλα δυναμικά αποθέματα. Ο σκούρος, πλούσιος σε οργανική ύλη σχιστόλιθος αποτελεί το κυρίαρχο μητρικό πέτρωμα των πετρελαιοφόρων λεκανών. Το σχιστολιθικό αέριο συνήθως κατανέμεται στις υπό κλίση ζώνες λεκανών μεγάλων εκτάσεων. Σύμφωνα με στατιστικές αναλύσεις, μόνο ένα ποσοστό της τάξης του 10-20% του παραγόμενου πετρελαίου ή αερίου δύναται να μεταναστεύσει στους συμβατικούς ταμιευτήρες, ενώ το υπόλοιπο 80% εγκλωβίζεται στους μη συμβατικούς. Λόγω της ευρείας κατανομής του πλούσιου σε οργανική ύλη σχιστόλιθου η κλίμακα των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Για παράδειγμα, στη λεκάνη Forth Worth (με συνολική έκταση $38,100 \text{ km}^2$), η περιοχή η οποία φέρει αέριο του σχιστόλιθου Barnett στο Mississippi καταλαμβάνει έκταση $12,950 - 15,500 \text{ km}^2$ και τα επί τόπου αποθέματα εκτιμώνται στα $9.26 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ενώ τα τεχνικά ανακτήσιμα φτάνουν τα $1.25 \times 10^{12} \text{ m}^3$. Στην λεκάνη Appalachia (με έκταση $280,000 \text{ km}^2$), ο σχηματισμός Marcellus καταλαμβάνει έκταση $246,050 \text{ km}^2$, τα επί τόπου και τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα ανέρχονται σε $42.38 \times 10^{12} \text{ m}^3$ και σε $7.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ αντίστοιχα, τα οποία αποθέματα είναι και τα μεγαλύτερα αποθέματα σχιστολιθικού φ.α. στις ΗΠΑ (Ζου, 2013).

Ο κάτωθι πίνακας (Πίνακας 2-1) συγκεντρώνει τις διαφορές που διέπουν τους σχιστολιθικούς και συμβατικούς ταμιευτήρες φ.α.

Πίνακας 2-1: Διαφορές χαρακτηριστικών μεταξύ ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και συμβατικού αερίου (Iqbal & Satter, 2016).

Διαδικασία	Ταμιευτήρες Σχιστολιθικού αερίου (Μη συμβατικοί)	Ταμιευτήρες Συμβατικού αερίου
Μετανάστευση αερίου	Το αέριο παγιδεύεται επί τόπου	Μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μεγάλη απόσταση
Παγίδα ταμιευτήρα	Δεν υπάρχει ένδειξη παγίδας με την συμβατική έννοια	Ύπαρξη τεκτονικής στρωματογραφικής παγίδας ή σε συνδυασμό.
Περιοχή φόρτισης από υδρογονάνθρακες	Διάχυτη μέσα σε μία μεγάλη περιοχή	Σχετικά περιορισμένη περιοχή
Επί τόπου αποθέματα	Μεγάλα	Σχετικά μικρά
Ικανότητα του πετρώματος να μεταφέρει το ρευστό	Πολύ χαμηλή	Συνήθως υψηλότερη κατά τάξη μεγέθους

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Δυνατότητα ανάκτησης	Σχετικά χαμηλή	Σχετικά μέτρια
Επαφή αερίου-νερού (GWC)	Όχι καλά καθορισμένη	Καλά καθορισμένη
Συνήθεις εμφανίσεις νερού	Σε βάθη πάνω από τους υδρογονάνθρακες (Urdip)	Σε βάθη κάτω από τους υδρογονάνθρακες (Downdip)
Ανωμαλία πίεσης στον ταμιευτήρα (pressure anomaly)	Είναι συνήθης η υπερπίεση των ταμιευτήρων (overpressured reservoirs)	Οι ανωμαλίες στην πίεση είναι σχετικά μικρές.

2.2.1.3. Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών ταμιευτήρων

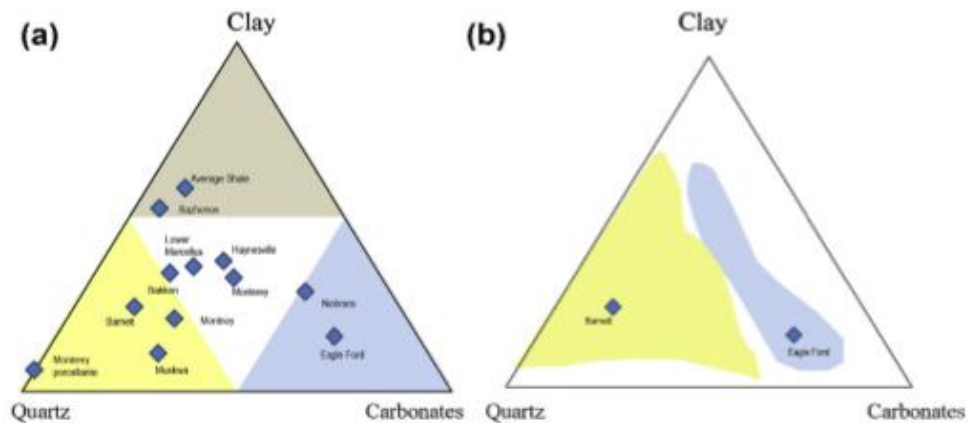
Σύμφωνα με την ικανότητα παραγωγής υδρογονανθράκων των οργανικά πλούσιων σχιστόλιθων και τις απαιτήσεις έρευνας και ανάπτυξης σχιστολιθικού φ.α., πιστεύεται εν γένει ότι η δημιουργία εμπορικά αξιοποιήσιμου σχιστολιθικού φ.α. χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες πέντε «υψηλές» παραμέτρους:

- Υψηλή αφθονία σε οργανική ύλη (TOC > 2%),
- υψηλό βαθμό θερμικής εξέλιξης ($R_o > 2.0 - 2.5\%$),
- υψηλή περιεκτικότητα σε χαλαζία,
- υψηλή ευθραυστότητα (ευκολία σχηματισμού τεχνικών ρωγμών με την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης) > 80%
- Υψηλό περιεχόμενο σε προσροφημένο αέριο

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι συνήθως το πιο βασικό συστατικό σε μεταλλικά στοιχεία των θαλάσσιας προέλευσης οργανικά-πλούσιων σχιστόλιθων είναι ο υδρογενής χαλαζίας ιζηματογενούς προέλευσης (περιεκτικότητα σε χαλαζία, άστριους, ασβεστίτη, κ.λπ., > 50%). Η περιεκτικότητά του σε αργιλικά ορυκτά (καολινίτης, μοντμοριλλονίτης, κ.λπ.) είναι μικρότερη. Συγκριτικά, η περιεκτικότητα των αργιλικών ορυκτών σε χερσαίους οργανικά-πλούσιους σχιστόλιθους είναι σχετικά υψηλότερη, ενώ το περιεχόμενο του σε ψαθυρά ορυκτά (χαλαζίας, κ.λπ.) είναι χαμηλότερο, οδηγώντας σε χαμηλότερη ευθραυστότητα του σχιστολίθου.

1. Ορυκτολογική σύσταση

Η ορυκτολογική σύσταση των σχιστόλιθων μπορεί να περιγραφεί από ένα τριγωνικό διάγραμμα με τρία κυρίαρχα ορυκτά συστατικά, χαλαζίας (quartz), συνολική άργιλος (total clay) και συνολικά ανθρακικά (total carbonates). (Εικόνα 2-7α).



Εικόνα 2-7: (a) Τριγωνικό διάγραμμα ορυκτολογικής σύστασης σχιστολιθικών σχηματισμών και (b) Ετερογένεια στην ορυκτολογική σύσταση δύο σχιστολιθικών (Zee Ma & Holditch, 2016).

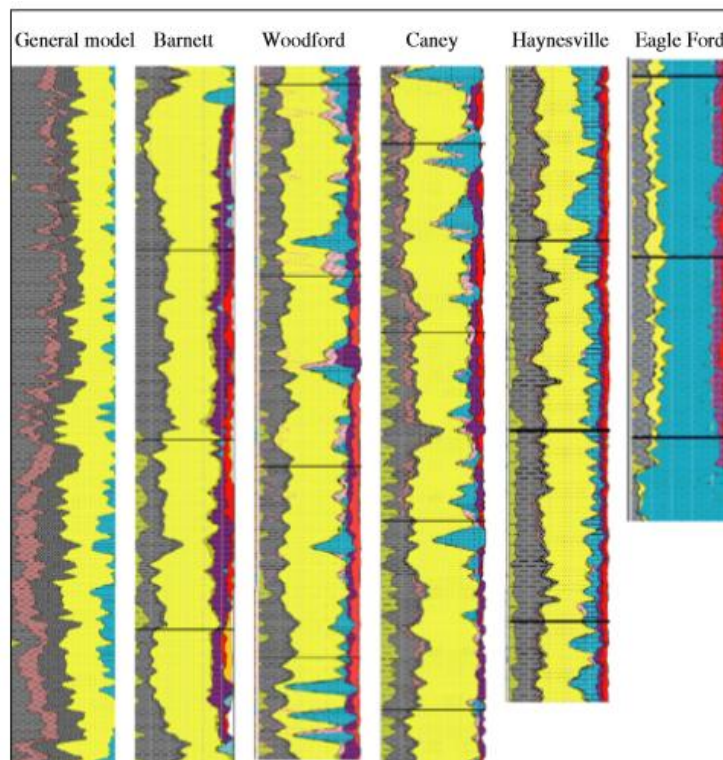
Η κατανόηση της ορυκτολογικής σύνθεσης των σχιστολιθικών σχηματισμών είναι ζωτικής σημασία για την ανάλυση της ποιότητας του ταμιευτήρα.

Η περιεκτικότητα του σχιστόλιθου σε ψαθυρά υλικά (χαλαζίας, άστριοι - feldspar, ασβεστίτης - calcite) αποτελεί σημαντικό παράγοντα, ο οποίος καθορίζει όχι μόνο την ανάπτυξη του πορώδους της θεμελιώδους μήτρας του πετρώματος και των μικρορωγματώσεων, αλλά και την ικανότητα του πετρώματος να φέρει αέριο, καθώς και το μοντέλο διέγερσης και ρωγμάτωσής του. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του σχιστόλιθου σε ψαθυρά ορυκτά, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ψαθυρότητα του σχιστόλιθου ως πέτρωμα. Υπό την επήρεια εξωτερικών δυνάμεων, είναι πιο εύκολο να σχηματιστούν φυσικές ρωγμές και επαγόμενες ρωγματώσεις, οι οποίες καθιστούν πιο εύκολη την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου. Αντιθέτως, ο σχιστόλιθος με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο παρουσιάζει συχνά υψηλή ολκιμότητα και μπορεί να απορροφήσει μέρος της ενέργειας που του προσδίδεται για τον σχηματισμό επίπεδο ρωγματώσεων (tabular fractures), οι οποίες δεν είναι ευνοϊκές για την διαδικασία διέγερσης του σχιστόλιθου. Για παράδειγμα ο σχιστολιθικός ταμιευτήρας Bazhenov θα πρέπει να έχει πιο ευνοϊκούς παράγοντες όπως ένα πιο εντατικό δίκτυο ρωγματώσεων για να αντισταθμίσει την αρνητική επίδραση της υψηλής περιεκτικότητας σε άργιλο.

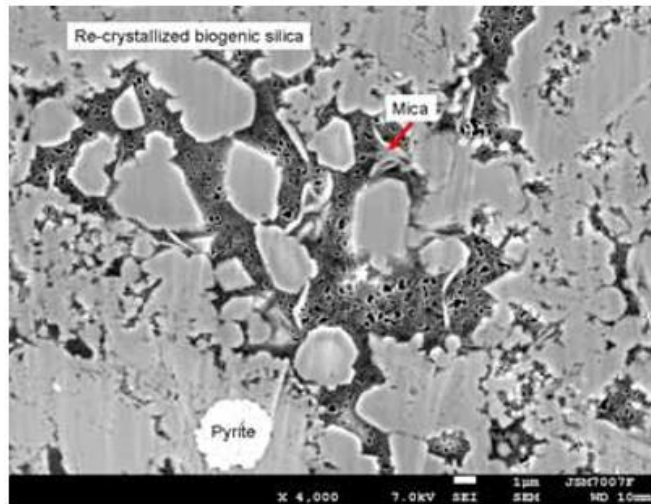
Στους προς εκμετάλλευση ταμιευτήρες σχιστολιθικού αερίου η περιεκτικότητα σε ψαθυρά ορυκτά ανέρχεται σε ποσοστό πέραν του 40%, ενώ η περιεκτικότητα σε άργιλο είναι μικρότερη του 30%.

Επιπλέον σε ένα δεδομένο σχιστολιθικό ταμιευτήρα, η ορυκτολογική σύσταση μπορεί να ποικίλει ευρέως, συναρτήσει των κάθετων και πλευρικών τοποθετήσεων, όπως φαίνεται από τους σχηματισμούς Barnett και Eagle Ford (Εικόνα 2-7 b). Αυτές οι παραλλαγές αντανακλούν την ορυκτολογική ετερογένεια των σχηματισμών (ZeeMa&Holditch, 2016).

Στις Η.Π.Α. η περιεκτικότητα σε χαλαζία στους υπό εκμετάλλευση σχιστολιθικούς σχηματισμούς κυμαίνεται μεταξύ 28% και 52%, η περιεκτικότητα σε ανθρακικά μεταξύ 4% και 16%, ενώ η συνολική περιεκτικότητα σε ψαθυρά ορυκτά μεταξύ 46% και 60%. Ακόμη, από στατιστικά στοιχεία αλλά και από ορυκτολογική ανάλυση που έγινε στο σχηματισμό Barnett από τους (Jarvie, Hill, Ruble, & Pollastro, 2007) δεν ήταν εφικτή η εύρεση ενός μοναδικού μοντέλου για την ορυκτολογική σύσταση του σχιστόλιθου. Η Schlumberger έχει και αυτή με τη σειρά της επισημάνει μεγάλες διαφορές όσον αφορά την ορυκτολογική σύσταση μεταξύ σχιστολιθικών σχηματισμών που φέρουν φ.α. στη Βόρεια Αμερική (Εικόνα 2-8) και του σχιστολιθικού σχηματισμού Barnett, καθώς ο τελευταίος χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε πυριτικά ορυκτά (Εικόνα 2-9), σε αντίθεση με τον σχηματισμό Eagle Ford, του οποίου η περιεκτικότητα σε ανθρακικά ορυκτά υπερβαίνει το 50% (Zou, 2013).



Εικόνα 2-8: Διαφοροποίηση ορυκτολογικής σύστασης σχιστολιθικών ταμιευτήρων στην Βόρεια Αμερική (Zou, 2013).



Εικόνα 2-9: Δείγμα από τον σχιστολιθικό σχηματισμό Barnett, στο οποίο είναι άφθονο το ανακρυσταλλωμένο βιογενές πυρίτιο (Zou, 2013).

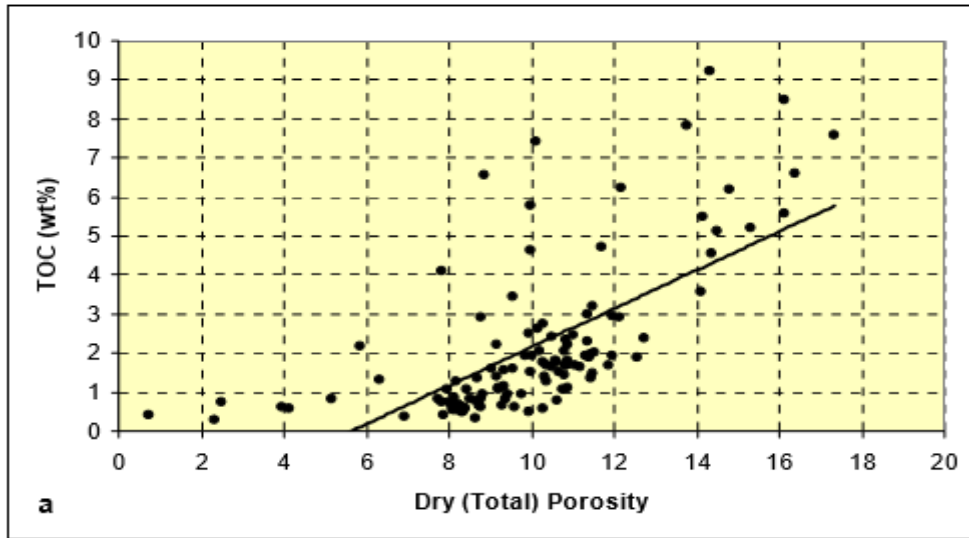
Στην Κίνα υπάρχουν τρεις τύποι σχιστόλιθου, θαλάσσιοι σχιστόλιθοι (marine), θαλάσσιοι - χερσαίοι ανθρακούχοι σχιστόλιθοι και λιμναίοι σχιστόλιθοι. Η περιεκτικότητα του σχιστόλιθου σε ψαθυρά υλικά και στους τρεις τύπους είναι γενικώς υψηλή, ως επί το πλείστον πάνω από 40%. Για παράδειγμα, η περιεκτικότητα σε χαλαζία του Παλαιοζωικού θαλάσσιου σχιστόλιθου στην περιοχή Upper Yangtze κυμαίνεται μεταξύ 24,3% και 32,0%, η περιεκτικότητα σε άστριους μεταξύ 4,3% και 32,3%, η περιεκτικότητα σε ασβεστίτη 8.5% - 16.9%, και το συνολικό περιεχόμενο σε ψαθυρά ορυκτά κυμαίνεται μεταξύ 40 % και 80%.

2. Ολικός οργανικός άνθρακας – Total Organic Carbon (TOC)

Ο ολικός οργανικός άνθρακας είναι ένας σημαντικός δείκτης για την αξιολόγηση της αφθονίας της οργανικής ύλης και για τη βάση της δημιουργίας του σχιστολιθικού αερίου. Η εν λόγω παράμετρος συνήθως εκφράζεται ως επί τοις εκατό κατά βάρος (κ.β.) (weight%), ενώ, μερικές φορές εκφράζεται ως επί τοις εκατό κατ' όγκο (κ.ό.) (volume %). Η τιμή του % κ.ό. ποσοστού είναι περίπου διπλάσια από αυτή του % κ.β..

Το ποσοστό του ολικού οργανικού άνθρακα διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον σχιστολιθικό ταμιευτήρα, εξ αιτίας των κάθετων ετερογενειών που παρατηρήθηκαν στα μητρικά πετρώματα, παραλλαγές οι οποίες αναμένεται να υπάρχουν και στην υπερώριμη έκφανση των μητρικών πετρωμάτων ως ταμιευτήρες σχιστολιθικού αερίου. Η εξέταση δεκάδων σχηματισμών σχιστολιθικού αερίου παγκοσμίως υποδεικνύει την συσχέτιση του συνολικού πορώδους και του προσροφημένου αερίου με το περιεχόμενο οργανικό άνθρακα (Εικόνα 2-10). Υψηλή τιμή του TOC αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την

αξιολόγηση του δυναμικού που παρουσιάζει ο σχηματισμός για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου (Passey, Bohacs, Esch, Klimentidis, &Sinha, 2010)



Εικόνα 2-10: Σχέση μεταξύ ολικού πορώδους (total porosity) και ολικού οργανικού άνθρακα (TOC - wt%) (Passey, Bohacs, Esch, Klimentidis, &Sinha, 2010).

Πετρώματα με υψηλές τιμές ολικού οργανικού άνθρακα, είναι οργανικά πλουσιότερα και έχουν μεγαλύτερη ικανότητα δημιουργίας αερίου. Επιθυμητές ποσότητες TOC για θερμικά μη ώριμο μητρικό πέτρωμα θεωρείται ότι είναι πάνω από 4%. Όμως, η τιμή του TOC μειώνεται με την θερμική ωρίμανση, γι' αυτό λογικές ποσότητες ολικού οργανικού άνθρακα για εξαιρετικά ώριμα μητρικά πετρώματα (highly mature) θεωρούνται αυτές που είναι > 2wt TOC%. Οι έρευνες επικεντρώνονται σε πετρώματα με τιμή TOC από 2% έως 10% (Εικόνα 2-10). Ενώ πετρώματα με τιμή TOC υψηλότερη του 10% δεν θεωρούνται ώριμα αρκετά ώστε να αξιοποιηθούν καταλλήλως.

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 2-11:: Σχέση μεταξύ του ολικού οργανικού άνθρακα και τα δυνητικά αποθέματα υδρογονανθράκων (Alexander, etal., 2011),

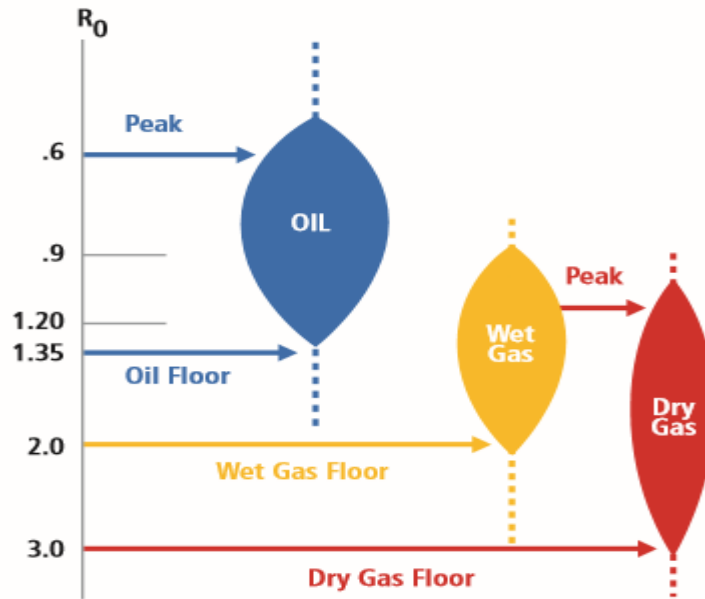
Σε ένα δείγμα σχιστόλιθου, ο ολικός οργανικός άνθρακας περιλαμβάνει οργανικό αλλά και ανόργανο άνθρακα. Για τη ποσοτικοποίηση του περιεχόμενου οργανικού άνθρακα, χρησιμοποιείται από τους μηχανικούς μια τεχνική καύσης. Ένα μέρος από το δείγμα του πετρώματος αρχικά αντιδρά με φωσφορικό οξύ ώστε να αφαιρεθεί 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% έως 25%, ενώ η ποσότητα του αερίου που φέρουν κυμαίνεται από 0,4 έως 9,91 m³/t (Alexander, και συν., 2011).

3. Ωριμότητα της οργανικής ύλης (Organic Matter Maturity)

Η ωριμότητα της οργανικής ύλης είναι ο κύριος δείκτης ο οποίος θα καθορίσει αν η οργανική ύλη είναι επιρρεπής στο να παράγει πετρέλαιο (oil-prone) ή αέριο (gas-prone) καθώς και τον βαθμό μετατροπής της σε υδρογονάνθρακες.

Καθώς το κηρογόνο εκτίθεται σε σταδιακά υψηλότερες θερμοκρασίες με την πάροδο του χρόνου, ο βιτρινίτης - υλικό του κυτταρικού τοιχώματος του ξυλώδη φυτικού ιστού, το οποίο είναι διατηρημένο στο πέτρωμα - υφίσταται μη αναστρέψιμη αλλοίωση και αναπτύσσει αυξημένη ανακλαστικότητα. Η τιμή της ανακλαστικότητας του βιτρινίτη (R_o %) είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη τεχνική για τον προσδιορισμό της θερμικής ωριμότητας του μητρικού πετρώματος, μετρά την ένταση του ανακλώμενου φωτός από τα γυαλισμένα σωματίδια βιτρινίτη στο σχιστόλιθο κάτω από ένα μικροσκόπιο. Αυξημένη ανάκλαση προκαλείται από την αρωματοποίηση του κηρογόνου και την απώλεια υδρογόνου (Jarvie, Hill, Ruble, & Pollastro, 2007).

Οι τυπικές τιμές της ωριμότητας της οργανικής ύλης κυμαίνονται από R_o= 0% έως 3%. Ο δείκτης ωριμότητας R_o ≥ 1% υποδεικνύει την κορυφή γένεσης πετρελαίου (oil generation peak) και ο δείκτης R_o ≥ 1,3% είναι το στάδιο γέννησης αερίου. Στην εικόνα 2-12 παρουσιάζεται η κλίμακα θερμικής ωρίμανσης.



Εικόνα 2-12: Κλίμακα θερμικής ωρίμανσης (Ahmed, Meehan, & Hughes, 2016)

Ξηρό αέριο εμφανίζεται όταν η τιμή R_o είναι μεγαλύτερη από 1,0%, υγρό αέριο όταν η τιμή R_o είναι μεταξύ 0,5 και 1,0%, και πετρέλαιο όταν η τιμή R_o είναι μεταξύ 0,5 και 1,3%.

Επίσης σύμφωνα με την εικόνα 2-12, μπορεί να γίνουν οι ακόλουθες κατατάξεις:

- % R_o από 0,1 έως 0,5: θερμικά ανώριμο.
- % R_o από 0,6 έως 1,1: παράθυρο δημιουργίας πετρελαίου.
- % R_o από 1,2 έως 2,0: παράθυρο δημιουργίας αερίου.

Η ωριμότητα των σχιστολιθικών σχηματισμών της Βορείου Αμερικής κυμαίνεται από 0,4% έως 4,0%, το οποίο υποδεικνύει ότι το σχιστολιθικό αέριο έχει τη δυνατότητα να παραχθεί καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας μετατροπής της οργανικής ύλης σε υδρογονάνθρακες. Με άλλα λόγια, η γένεση του σχιστολιθικού φ.α. μπορεί να οφείλεται σε βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης, σε θερμική αποικοδόμηση του κηρογόνου και σε θερμική διάσπαση του αργού πετρελαίου (crude oil). Ωστόσο, σύμφωνα με τη σύγκριση των ποσοτήτων του αερίου που φέρει ο σχιστόλιθος, η χαμηλή ωριμότητα της οργανικής ύλης θα οδηγήσει σε μια μικρή ποσότητα αερίου που μπορεί να φέρει ο σχιστόλιθος και σε χαμηλή ικανότητα απόληψης αυτού του αερίου, ενώ υψηλότερες τιμές ωριμότητας θα οδηγήσουν σε μεγαλύτερη ποσότητα αερίου και καλύτερη ικανότητα απόληψης του.

Συνεπώς μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η γένεση του σχιστολιθικού αερίου κυριαρχείται από δύο μηχανισμούς: της θερμικής αποικοδόμησης του κηρογόνου και της

θερμικής διάσπασης του αργού πετρελαίου. Σύμφωνα με μία μελέτη που έγινε από τους (Jarvie, Hill, Ruble, & Pollastro, 2007), ευνοϊκότερες προοπτικές για γένεση σχιστολιθικού φ.α. παρουσιάζονται κατά το διάστημα του «παραθύρου» δημιουργίας αερίου το οποίο πραγματοποιείται κατά τη θερμική εξέλιξη, όταν η ωριμότητα (R_o) της οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ 1,1% και 2% (Zou, 2013).

4. Ενεργό πάχος σχιστολιθικού σχηματισμού (Effective shale thickness)

Προκειμένου να σχηματιστεί εμπορικά αξιοποιήσιμο σχιστολιθικό αέριο, το ενεργό πάχος του σχιστολιθικού σχηματισμού (effective shale thickness) χρειάζεται να φτάσει σε ένα συγκεκριμένο όριο, το οποίο θα εξασφαλίσει επαρκή οργανική ύλη και αποθηκευτικό χώρο. Ο ενεργός σχιστόλιθος (*effective shale*) ορίζεται ως ο σχιστόλιθος που βρίσκεται στο παράθυρο-γένεσης αερίου (gas-generation window) υπό την έκφανση της θερμικής ωριμότητας, έχοντας τιμή TOC μεγαλύτερη του 2%, περιεκτικότητα σε ψαθυρά ουρικά (π.χ. χαλαζίας) μεγαλύτερη από 40%, σε αργιλικά ουρικά μικρότερη από 30%, πορώδες μεγαλύτερο από 2% και διαπερατότητα μικρότερη των $0,0001 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. Έχει επιβεβαιωθεί ότι το ενεργό πάχος σχιστολιθικού σχηματισμού μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της εμπορικής αξιοποίησης του περιεχόμενου σε αυτόν φ.α., εφόσον ικανοποιούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- ✓ Να είναι πάνω από 30 m όταν ο ενεργός σχιστόλιθος αναπτύσσεται συνεχόμενα,
- ✓ Το αθροιστικό πάχος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 50 m στην περίπτωση που ο ενεργός σχιστόλιθος δεν έχει αναπτυχθεί συνεχόμενα ή όταν η παράμετρος TOC είναι μικρότερη του 2%.

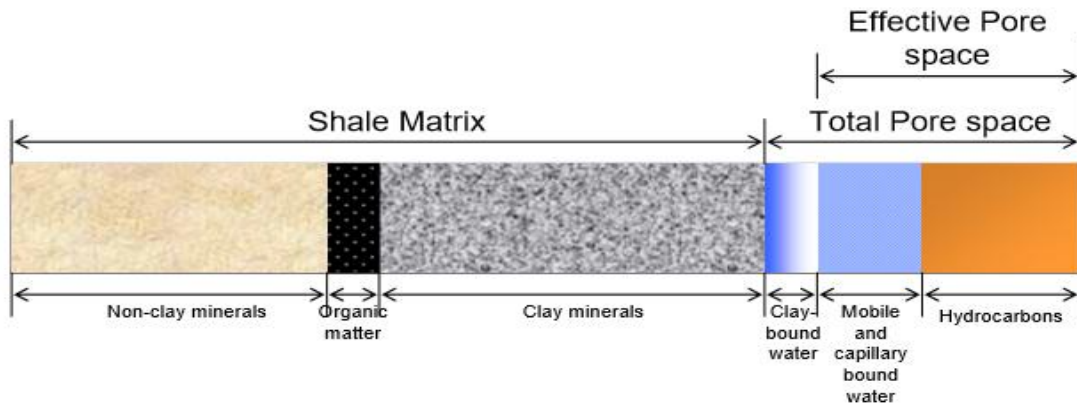
Έτσι με την αύξηση στο πάχος του ενεργού σχιστόλιθου, αυξάνεται παράλληλα και η συνολική ποσότητα οργανικής ύλης με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη παραγωγή και συγκέντρωση αερίου.

Το μικρότερο πάχος του ενεργού σχιστόλιθου που έχει παρατηρηθεί είναι τα 6m στο σχιστολιθικό σχηματισμό Fayetteville στη Βόρεια Αμερική, και το μεγαλύτερο φτάνει μέχρι τα 304m στον σχηματισμό Marcellus. Το πάχος του μαύρου, οργανικά πλούσιου σχιστόλιθου (TOC>2%) στους σχηματισμούς Qiongzhusi και Silurian Longmaxi στην περιοχή Upper Yangtze στην Κίνα κυμαίνεται από 80 έως 180m.

5. Πόροι (Pores)

Ο χαρακτηρισμός των πόρων αποτελεί την πιο βασική διεργασία για την αξιολόγηση των σχηματισμών, καθώς το πορώδες αντιπροσωπεύει την ικανότητα των πόρων να

αποθηκεύουν υδρογονάνθρακες. Στους οργανικά πλούσιους σχιστόλιθους οι πόροι της οργανικής ύλης ή οι πόροι που σχετίζονται με το κηρογόνο, παίζουν σημαντικό ρόλο στο δίκτυο πόρων και ως αποτέλεσμα το πορώδες συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τον TOC. Ένας πλούσια οργανικά σχιστόλιθος τυπικά αποτελείται από αργιλικά ορυκτά (clay minerals) και από μη αργιλικά ορυκτά (nonclay minerals) στη μήτρα και μεταξύ αυτό των ορυκτών υπάρχει ο πορώδης χώρος, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2-13. Το συνολικό πορώδες αντιπροσωπεύει τον χώρο των πόρων στη μήτρα των ορυκτών και του κηρογόνου, συμπεριλαμβανομένου του χώρου που καταλαμβάνεται από υδρογονάνθρακες, κινητό (mobile) και δεσμευμένο λόγω τριχοειδών δυνάμεων νερό (capillary-bound water), καθώς και νερό δεσμευμένο στα αργιλικά ορυκτά (clay-boundwater). Το ενεργό πορώδες δεν περιλαμβάνει το νερό που είναι δεσμευμένο στα αργιλικά ορυκτά (Zee Ma & Holditch, 2016)

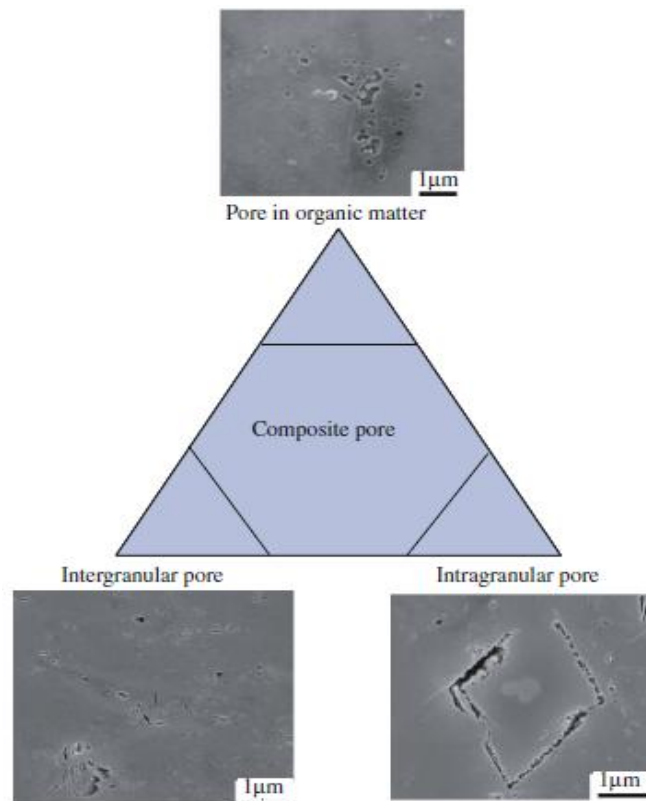


Εικόνα 2-13: Απεικόνιση του συνολικού και του ενεργού πορώδους σε ένα οργανικής σύστασης σχιστολιθικό πέτρωμα (Passey, Bohacs, Esch, Klimentidis, & Sinha, 2010).

Το μέγεθος των πόρων στο σχιστόλιθο κυμαίνεται από 1-3 nm έως 400-750 nm και οι πόροι χαρακτηρίζονται από μεγάλη ειδική επιφάνεια και πολύπλοκη υφή. Το πορώδες αποτελεί καθοριστική παράμετρο για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε ελεύθερο αέριο (content of free gas). Το 50% του σχιστολιθικού αερίου βρίσκεται αποθηκευμένο στους πόρους της μήτρας του σχιστόλιθου. Ο σχιστόλιθος ως ταμειυτήρας έχει πολύ χαμηλές τιμές πορώδους αλλά και διαπερατότητας και χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη διαφόρων τύπων μικροπόρων (micropores), όπως μικροπόροι μεταξύ των κόκκων (intergranular micropores), μικροπόροι εντός των κόκκων (intragranular micropores), μικροπόροιμεταξύ των συσσωματωμάτων της αργίλου κ.ά. (Εικόνα 2-14). Οι πόροι είναι μικρότεροι των 2μm, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από 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%.

Στην Κίνα, οι θαλάσσιοι και οργανικά-πλούσιοι σχιστόλιθοι χαρακτηρίζονται από συστήματα νανο-πόρων. Επίσης περιέχουν μεταξύ και εντός των κόκκων και πόρους μέσα στην οργανική ύλη. Τα συστήματα των νανο-πόρων, τα οποία σχηματίστηκαν μετά την ωρίμανση της οργανικής ύλης, αποτελούν τον κύριο πορώδη χώρο για την αποθήκευση του σχιστολιθικού φ.α. (Zou, 2013).

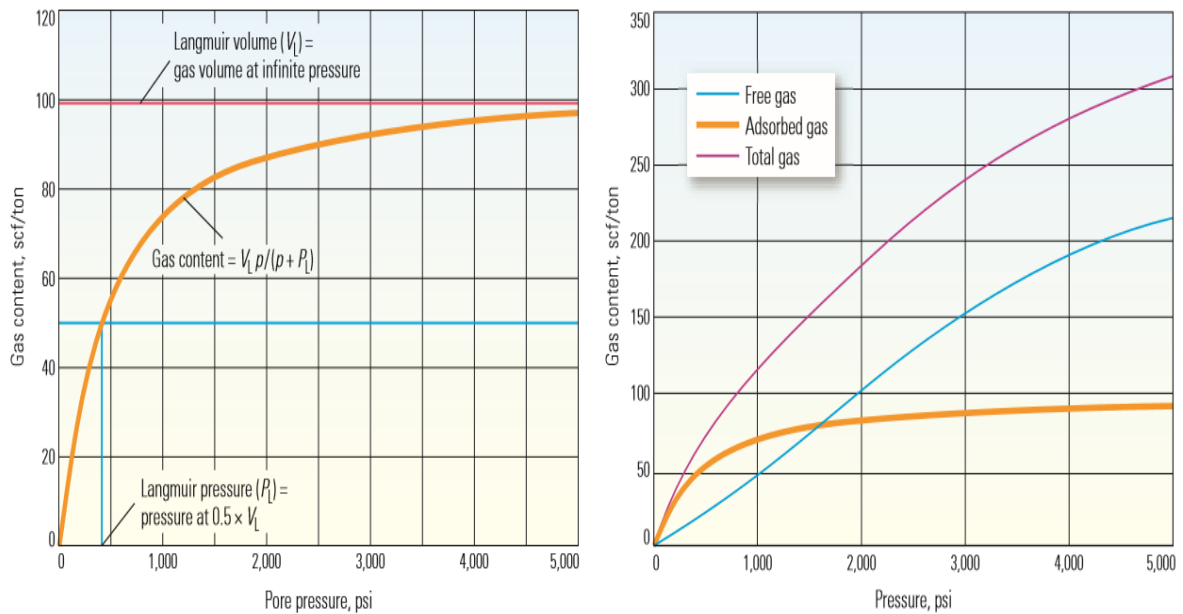


Εικόνα 2-14: Είδη πόρων σε σχιστολιθικό ταμιευτήρα (Zou, 2013).

6. Κορεσμός και τύποι υδρογονανθράκων (Hydrocarbon saturation and types)

Οι πόροι που έχουν αναπτυχθεί στον σχιστόλιθο, περιέχουν πετρέλαιο, αέριο και νερό, και η αξιολόγηση του κορεσμού τους σε ρευστά αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της ανάλυσης της ποιότητας του ταμιευτήρα. Στους σχιστολιθικούς ταμιευτήρες, το επί τόπου αέριο (gas in-place) περιλαμβάνει το προσροφημένο (absorbed gas) και το ελεύθερο αέριο (free gas). Εν γένει, ο κορεσμός του ελεύθερου αερίου θα πρέπει να συσχετιστεί με το ενεργό πορώδες, καθώς αντιπροσωπεύει το πορώδες που έχει πληρωθεί με αέριο (gas-filled porosity). Το προσροφημένο αέριο αποτελεί συνάρτηση της πίεσης, της περιεκτικότητας σε TOC και της ισόθερμης καμπύλης. Ο άμεσος ποσοτικός προσδιορισμός του προσροφημένου αερίου είναι

δύσκολος, και γι' αυτό κατασκευάζεται η ισόθερμη καμπύλη από δείγματα πυρήνα. Οι μετρήσεις ισοθερμικής προσρόφησης καταστούν δυνατή την αξιολόγηση της μέγιστης ικανότητας προσρόφησης των αερίων από την οργανική ύλη, ως συνάρτηση της πίεσης. Το μοντέλο του Langmuir για την ισόθερμη καμπύλη, είναι από τα πρώτα μοντέλα που έχουν χρησιμοποιηθεί για την προσρόφηση, στο οποίο έχει θεωρηθεί μονοστιβαδική και επίπεδη επιφάνεια πόρων. Η Εικόνα 2-15 απεικονίζει την ισόθερμη καμπύλη Langmuir, η οποία επιτρέπει τον υπολογισμό του περιεχόμενου αερίου με βάση την πίεση.



Εικόνα 2-15: Ισόθερμες καμπύλες Langmuir και περιεκτικότητα σε φυσικό αέριο (Alexander, και συν., 2011).

Σύμφωνα με το αριστερό διάγραμμα, η Langmuir καμπύλη (κίτρινη) προέρχεται από θρυμματισμένα δείγματα πετρωμάτων και προσδιορίζει ποσοτικά την χωρητικότητα αποθήκευσης του προσροφημένου αερίου σε ένα πέτρωμα. Ο Langmuir όγκος, V_L (κόκκινη γραμμή) αντιπροσωπεύει το θεωρητικό όριο για την απορρόφηση του αερίου σε άπειρη πίεση. Η αποθηκευτική χωρητικότητα σε μια δεδομένη πίεση p , μπορεί να προσδιοριστεί από το διάγραμμα. Η Langmuir πίεση, P_L (κάθετη μπλε γραμμή), είναι η πίεση στο μισό του Langmuir όγκου. Χρησιμοποιώντας τις ισόθερμες καμπύλες Langmuir, το συνολικά επί τόπου αέριο – OGIP (δεξιά διάγραμμα, κόκκινη γραμμή) για ένα συγκεκριμένο ταμιευτήρα μπορεί να προσδιοριστεί συναρτήσει της πίεσης. Το συνολικό αέριο αποτελείται, όπως αναφέραμε προηγουμένως, από το προσροφημένο αέριο στο κηρογόνο (κίτρινη καμπύλη) και το ελεύθερο αέριο στους πόρους (μπλε γραμμή). Σε χαμηλές πιέσεις, η προσρόφηση αποτελεί ένα αποτελεσματικό μηχανισμό αποθήκευσης αερίου. Όσο αυξάνεται η πίεση, τόσο αυξάνεται αντίστοιχα και το ελεύθερο αέριο στους πόρους.

7. Διαπερατότητα και μικρορωγμές (Permeability and microfractures)

Μία από τις πιο δύσκολες προς χαρακτηρισμό ιδιότητες των ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου, είναι η διαπερατότητα σε αέριο, η οποία κυμαίνεται από 0,001 mD έως 0,0000001 mD (η διαπερατότητα μετριέται στην κλίμακα των micro- και nano- Darcy). Η διαπερατότητα αποτελεί συνάρτηση του ενεργού πορώδους, του κορεσμού των υδρογονανθράκων (hydrocarbon saturation) και της ορυκτολογικής σύστασης. Οι συμβατικοί ταμιευτήρες έχουν διαπερατότητα της τάξης των εκατοντάδων mD, αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από εκείνη που παρατηρήθηκε στους σχιστόλιθους (Alexander, και συν., 2011).

Σε αυτό το πολύ χαμηλής διαπερατότητας περιβάλλον, η ροή του αερίου διαμέσου της μήτρας του σχιστόλιθου είναι εξαιρετικά περιορισμένη και ανεπαρκής για εμπορική παραγωγή. Σύμφωνα με διάφορες μελέτες, έχει υπολογιστεί ότι η κίνηση ενός μορίου αερίου διαμέσου της μήτρας του σχιστολιθικού πετρώματος δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 10 έως 50 ft το χρόνο.

Το πορώδες των σχιστολιθικών ταμιευτήρων Eagle Ford είναι μέχρι 10%, ο κορεσμός του αερίου είναι έως και 80%, και η σχετική διαπερατότητα είναι μέχρι $0,1 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$, στοιχεία που θεωρείται ότι χαρακτηρίζουν έναν καλό σχιστολιθικό ταμιευτήρα.

Η ανάπτυξη ρωγμών παρέχει ικανοποιητικό αποθηκευτικό χώρο για το σχιστολιθικό αέριο και μπορεί να παρέχει μονοπάτια μετανάστευσης (migration pathways) βελτιώνοντας ουσιαστικά την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου (Curtis, 2002). Η διαπερατότητα του σχιστόλιθου είναι εξαιρετικά χαμηλή και επιβάλλει την εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η περιεκτικότητα σε χαλαζία συμβάλλει σημαντικά στην ανάπτυξη των ρωγματώσεων. Ο μαύρος, πλούσιος σε χαλαζία, σχιστόλιθος έχει καλή ευθραυστότητα και αυτό καθιστά πιο εύκολη την ανάπτυξη ρωγμών σε σχέση με τον πλούσιο σε ασβεστίτη σχιστόλιθο. Σύμφωνα με τον (Nelson, 2009) οι άστριοι και ο δολομίτες έχουν εύθρυπτες συνθέσεις πέραν του χαλαζία. Ο σχιστόλιθος έχει συχνά υψηλή περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά σε αντίθεση με τον σκούρο πλούσιο - σε οργανική ύλη σχιστόλιθο. Για να καταστεί πιο εύκολη η ρωγμάτωση του σχιστόλιθου, θα πρέπει η περιεκτικότητά του σε αργιλικά ορυκτά να είναι μικρότερη από 50% και παράλληλα να είναι υψηλή η περιεκτικότητά του σε ψαθυρά - εύθρυπτα ορυκτά (Zou, 2013).

Παρακάτω, παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 2-2) με τα αναφέρθηεντα χαρακτηριστικά των ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Κίνα.

Πίνακας 2-2: Σύγκριση γεωλογικών συνθηκών και σχιστολιθικών ταμιευτήρων στις ΗΠΑ και στην Κίνα (Zou, 2013).

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

2.3. Σχιστολιθικό Φυσικό Αέριο

Το σχιστολιθικό φ.α. είναι το φ.α., το οποίο ανακτάται από τον, πλούσιο σε οργανική ύλη, σχιστόλιθο, όπου βρίσκεται παγιδευμένο μέσα στους πόρους του.

Σύμφωνα, με τον μηχανισμό της γένεσης, το σχιστολιθικό αέριο, το οποίο βρίσκεται στον πλούσιο σε οργανική ύλη σχιστόλιθο και στις εξαιρετικά χαμηλής διαπερατότητας ενδιάμεσες στρώσεις του ιλυόλιθου και ψαμμίτη ως προσροφημένο αέριο ή ως διαλυμένο αέριο, είναι ένας ταμιευτήρας συνεχώς συσσωρευμένου αερίου, ο οποίος χαρακτηρίζεται από το φαινόμενο της αυτό-δημιουργίας (self-generation) και της αυτό-συντήρησης (self-preservation). Στους σχιστολιθικούς ταμιευτήρες, ο πλούσιος σε υδρογονάνθρακες, σχιστόλιθος θεωρείται ο ταμιευτήρας του φ.α. καθώς και το μητρικό πέτρωμα του αερίου. Το αέριο μπορεί να μείνει μέσα στον πλούσιο σε οργανική ύλη μητρικό πέτρωμα του σχιστόλιθου σε μεγάλες ποσότητες (μέχρι και το 50% της συνολικής ποσότητας των παραγομένων υδρογονανθράκων), σχηματίζοντας και αποτελώντας το σχιστολιθικό αέριο για την εμπορική ανάπτυξη (Zou, 2013).

Το φ.α. μπορεί να αποθηκευτεί μέσα στον σχιστόλιθο με τρεις πιθανούς τρόπους:

- 1) Ως ελεύθερο αέριο: Το αέριο βρίσκεται μέσα στους πόρους του πετρώματος (pores, micropores or microporosity) και στις φυσικές ρωγμές ή μικρορωγμές (fractures or microfractures)
- 2) Ως προσροφημένο αέριο: Το αέριο απορροφάται από την οργανική ύλη ή και από τα αργιλικά ορυκτά
- 3) Ως διαλυμένο αέριο: Μικρή ποσότητα αερίου διαλύεται στο κηρογόνο (αδιάλυτα σωματίδια οργανικής ύλης που βρίσκεται στα ιζηματογενή πετρώματα, περιλαμβάνει υπολείμματα λιπιδίων και βιοπολυμερών και έχει ανασυσταθεί από τα οργανικά υλικά) στο ασφαλτένιο και στο πετρέλαιο (Zee Ma & Holditch, 2016).

Λόγω της πολύ μικρής διαπερατότητας του σχιστόλιθου, 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.

Το αέριο μέσα στον σχιστόλιθο δημιουργείται με δύο διακριτούς τρόπους ή συνδυασμό τους. Κατά τον πρώτο, σχηματίζεται *βιογενές αέριο (biogenic gas)*, σε χαμηλά βάθη και θερμοκρασίες μέσω της αναερόβιας βακτηριακής αποσύνθεσης των οργανικών υλικών. Κατά τον δεύτερο, σχηματίζεται *θερμογενετικό αέριο (thermogenic gas)* σε υψηλά βάθη και θερμοκρασίες μέσω θερμικής διάσπασης του πετρελαίου (Zendehboudi & Bahadori, 2016).

2.3.1. Γένεση σχιστολιθικού φυσικού αερίου

Η προέλευση του πετρελαίου έχει τις ρίζες της στη μεταφορά και την εναπόθεση των ιζημάτων σε θάλασσες, λιμνοθάλασσες, λίμνες, έλη και διάφορα άλλα περιβάλλοντα υπό την δράση των φυσικών δυνάμεων και της βαρύτητας για μεγάλες χρονικές περιόδους. Μαζί με τα ιζήματα, κατατίθεται και οργανική ύλη όπως θαλάσσιοι οργανισμοί και υπολείμματα φυτικών υλικών. Αυτοί οι οργανικοί πόροι οδήγησαν τελικά στην γένεση του πετρελαίου και του φ.α..

Τα μητρικά πετρώματα του σχιστολιθικού αερίου προέρχονται από λάσπη πλούσια σε οργανική ύλη. Η οργανική ύλη συνήθως αποτίθεται σε θαλάσσιο περιβάλλον όπως σε λίμνες (λιμναίο περιβάλλον) ή σε βάλτους και έλη, κατά μήκος των περιθωρίων-ορίων λιμνών ή θαλασσών. Το είδος της οργανικής ύλης που αποτίθεται και τελικά διατηρείται μέσα στη λάσπη εξαρτάται από το περιβάλλον της απόθεσης.

Καθώς τα ιζήματα αποτίθενται, λαμβάνουν χώρα οι ακόλουθες διαδικασίες οδηγώντας στον σχηματισμό του *κηρογόνου*, το οποίο είναι μια μαύρη οργανική ουσία η οποία αποτελεί τον πρόδρομο του πετρελαίου και του φ.α.:

- Τα ιζήματα ενταφιάζονται σε όλο και μεγαλύτερα βάθη με την συνεχή συσσώρευση των ιζηματογενών σωματιδίων σε μεγάλες ποσότητες από ποτάμια και ρέματα για μεγάλες χρονικές περιόδους.
- Τα ενοποιημένα ιζήματα υποβάλλονται σε μία διαδικασία (lithification), η οποία περιλαμβάνει τη συμπίεση και την συγκόλλησή τους. Η συμπίεση οφείλεται στην συσσώρευση των τεράστιων ποσοτήτων ιζημάτων με την πάροδο του χρόνου, και η οποία δημιουργεί με την σειρά της επιβαλλόμενη περιβάλλουσα τάση πάνω στα ιζήματα (confining pressure).
- Η συγκόλληση συμβαίνει καθώς κάποια ορυκτά όπως ο ασβεστίτης και το πυρίτιο, τα οποία καταβυθίζονται από το νερό, σχηματίζονται γύρω από τα ιζήματα και τέλος δημιουργούν δεσμούς μεταξύ των κόκκων μέσω της συγκόλλησης. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό συγκολλημένων - ενοποιημένων πετρωμάτων.
- Το πετρέλαιο και το φ.α. είναι ενώσεις υδρογονανθράκων που προέρχονται από την οργανική ύλη, η οποία βρίσκεται θαμμένη μαζί με τα ιζήματα. Λόγω της υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας σε ένα περιβάλλον ανεπαρκούς οξυγόνου, η οργανική ύλη θερμαίνεται και μετατρέπεται σε κηρογόνο, το οποίο είναι αδιάλυτο. Διαφορετικής σύστασης οργανική ύλη οδηγεί στην γένεση διαφορετικού τύπου κηρογόνου. Όταν η οργανική ύλη εκτίθεται σε πίεση και θερμότητα, κάθε τύπος κηρογόνου είναι πιο επιρρεπής στο να παράγει συγκεκριμένα προϊόντα: πετρέλαιο, υγρό αέριο, ξηρό αέριο και μη - υδρογονάνθρακες.

Ορίζονται τέσσερις κύριοι τύποι κηρογόνου (Πίνακας 2-3) :

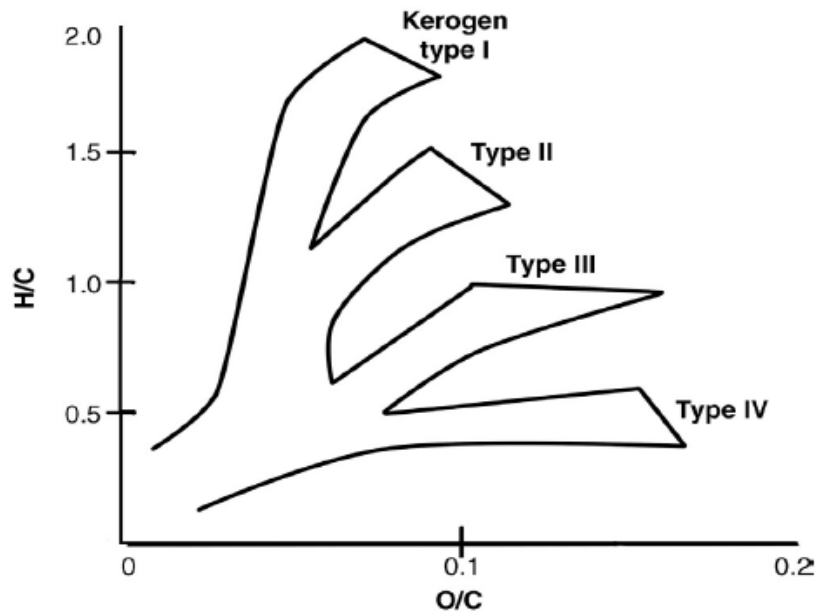
- Κηρογόνο Τύπου I.* Σχηματίζεται κυρίως σε λιμναία περιβάλλοντα αλλά και σε θαλάσσια σε μικρότερο βαθμό. Προέρχεται από φύκια, πλαγκτόν ή από υλικό το οποίο έχει προηγουμένως υποστεί έντονες αλλοιώσεις από βακτήρια και μικροοργανισμούς που βρίσκονται στα ιζήματα. Το κηρογόνο Τύπου I παράγει πετρέλαιο, αλλά ανάλογα με το στάδιο της θερμικής του εξέλιξης έχει τη δυνατότητα να παράγει και φ.α.. Χαρακτηρίζεται από υψηλή αναλογία υδρογόνου προς άνθρακα ($> 1,25$) και χαμηλή αναλογία οξυγόνου προς άνθρακα ($< 0,15$).

Πίνακας 2-3: Τύποι και χαρακτηριστικά κηρογόνου (Zee Ma & Holditch, 2016)

Kerogen	Type I – sapropelic	Type II – planktonic	Type III – humic
Origin	Algal material reworked by bacteria and microorganisms	Planktonic remains reworked by bacteria	Woody plant matter
Converts to	Oil	Oil as well as gas	Gas and coal
H/C ratio	> 1.25	< 1.25	< 1.0
O/C ratio	< 0.15	0.03–0.18	0.03–0.3
Depositional environment	Lake deposits (lacustrine) and marine	Moderately deep marine (reducing environment)	Nonmarine and shallow to deep marine

- ii. *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 χαμηλή αναλογία υδρογόνου προς άνθρακα (< 1.25) και χαμηλή αναλογία οξυγόνου προς άνθρακα που κυμαίνεται μεταξύ 0,03 έως 0,18.
- iii. *Κηρογόνο Τύπου III.* Προέρχεται από ινώδη και ξυλώδη φυτική ύλη, η οποία είχε εναποτεθεί σε χερσαίο περιβάλλον και έχει υποστεί χαμηλού βαθμού αποδόμηση. 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 που κυμαίνεται από 0,03 έως 0,3.
- iv. *Κηρογόνο Τύπου IV.* Προέρχεται από υπολείμματα οργανικού υλικού τα οποία έχουν αποδομηθεί μετά την αποσάθρωση. Απαντάται 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 φ.α. (γι' αυτό και δεν παρουσιάζεται στον παραπάνω πίνακα).

Η Εικόνα 2-16 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. 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) (Iqbal & Satter, 2016).



Εικόνα 2-16: Διάγραμμα VanKrevelen όπου παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι κηρογόνου συναρτήσει των αναλογιών H/C έναντι O/C (Iqbal & Satter, 2016).

2.3.2. Θερμική ωρίμανση οργανικής ύλης – Δημιουργία υδρογονανθράκων

Στις συνθήκες κάτω από την επιφάνεια, η οργανική ύλη που βρίσκεται μέσα στο πέτρωμα υποβάλλεται σε έντονη θέρμανση. Ως αποτέλεσμα, αρχικά παράγεται κηρόγονο, ενώ μπορεί να παραχθεί και πίσσα (bitumen) σε μικρότερο βαθμό. Με την αύξηση του βάθους ενταφιασμού, η οργανική ύλη εκτίθεται σε περαιτέρω θέρμανση, έχοντας ως συνέπεια την θερμική διάσπαση της οργανικής ύλης για την παραγωγή πετρελαίου και φ.α.. Οι ενώσεις υδρογονανθράκων που παράγονται έχουν σχετικά μικρότερο βάρος καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται και το πέτρωμα ωριμάζει θερμικά.

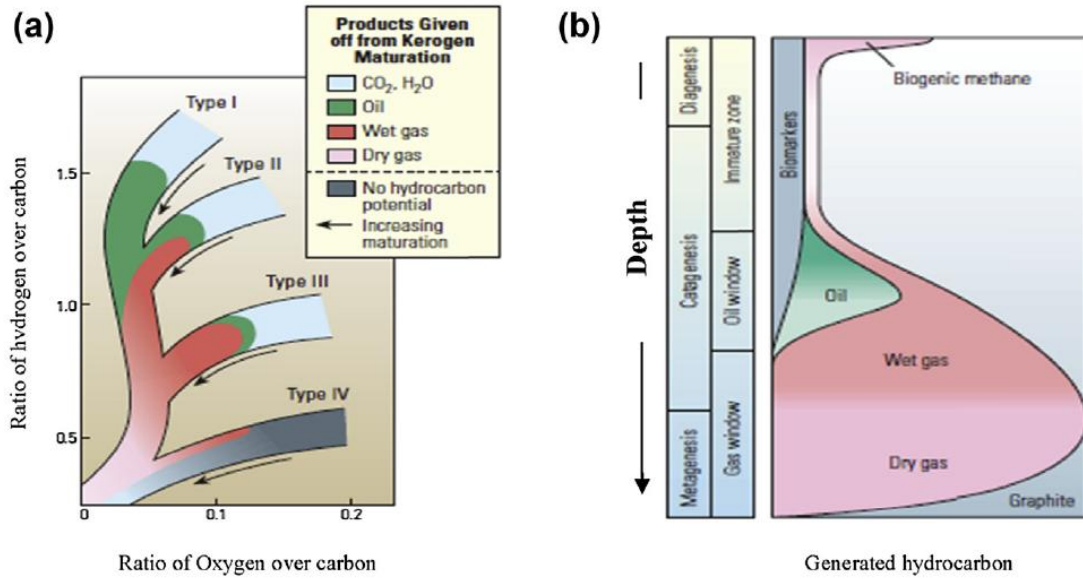
Η διαδικασία ωρίμανσης της οργανικής ύλης περιγράφεται από τρία στάδια:

1. Τη *διαγένεση*, στην οποία περιλαμβάνονται όλοι οι μετασχηματισμοί των ιζημάτων πριν από την έναρξη της διαδικασίας της σημαντικής θερμικής αλλοίωσης. Πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες κάτω από 125°F και παράγονται κηρόγονο και μικρή ποσότητα πίσσας. Σημειωτέον, μπορεί να παραχθεί βιογενές αέριο από την δράση των βακτηρίων που υπάρχουν στο πέτρωμα σε χαμηλά εύρη θερμοκρασίας.
2. Την *καταγένεση*, στην οποία με την αύξηση της θερμοκρασίας η οργανική ύλη μετατρέπεται σε υδρογονάνθρακες. Πραγματοποιείται σε θερμικά εύρη που κυμαίνονται από 125°F έως 275°F και περιλαμβάνει την παραγωγή πετρελαίου από το κηρόγονο. Το λεγόμενο «παράθυρο» του πετρελαίου (oil window) αναφέρεται

βάθος περί τα 100.000 ft, στο οποίο η θερμοκρασία που επικρατεί συνδράμει την παραγωγή πετρελαίου κατά τη διάρκεια της καταγένεσης. Όσο αυξάνεται το βάθος ενταφιασμού, αυξάνεται η θερμοκρασία και η πίεση, με αποτέλεσμα να παράγεται μόνο ξηρό αέριο (wet gas) στο άνω μέρος του λεγόμενου «παραθύρου» του φ.α. (gas window).

3. Την *μεταγένεση*, στην οποία περατώνεται η διαδικασία ωρίμανσης της οργανικής ύλης και περιλαμβάνει την θερμική καταστροφή του πετρελαίου σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 275°F έως 400°F. Κατά τη διάρκεια της μεταγένεσης, το μεγαλύτερο μέρος του κηρογόνου ανάγεται σε μεθάνιο και γραφίτη και καθώς το πέτρωμα βρίσκεται πέραν του «παραθύρου» του φ.α. παράγεται υγρό αέριο (dry gas).

Ο τύπος του κηρογόνου και η εξέλιξη των υδρογονανθράκων μπορεί να περιγραφεί από το διάγραμμα Van Krevelen, το οποίο χρησιμοποιεί δείκτες υδρογόνου και οξυγόνου (Εικόνα 2-17α). Στη θερμική μετατροπή του κηρογόνου σε υδρογονάνθρακες, ο βαθμός ωρίμανσης εξαρτάται από τον τύπο του κηρογόνου, τη θερμότητα και την πίεση που επικρατούν στις συνθήκες ενταφιασμού (Εικόνα 2-17b). Μετά τη μετανάστευσή τους από το μητρικό πέτρωμα οι υδρογονάνθρακες καταλήγουν να αποθηκεύονται σε συμβατικούς ταμιευτήρες.. Οι ώριμοι και οργανικά πλούσιοι σχιστόλιθοι, οι οποίοι δεν έχουν αποβάλει όλο τους το πετρέλαιο, αποκαλούνται σχιστόλιθοι που φέρουν πετρέλαιο (oil-bearing shales) όπως οι σχηματισμοί Bakken, Monterey, και Eagle Ford στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ενώ οι οργανικά πλούσιοι σχιστόλιθοι που είναι περισσότερο θερμικά ώριμοι ή είναι διαφορετικού τύπου κηρογόνου, περιέχουν φ.α. έναντι πετρελαίου όπως οι σχηματισμοί Barnett, Fayetteville, και Marcellus (Zee Ma & Holditch, 2016).



Εικόνα 2-17: (α) Διάγραμμα VanKrevelen που περιγράφει τους τύπους του κηρογόνου συναρτήσει των αναλογιών του υδρογόνου και του οξυγόνου προς τον άνθρακα και διάφορους τύπους υδρογονανθράκων (πετρέλαιο, υγρό αέριο, ξηρό αέριο) και (β) Θερμική μετατροπή του κηρογόνου σε διάφορους τύπους υδρογονανθράκων (Zee Ma & Holditch, 2016).

Στον Πίνακα 2-4 παρουσιάζονται τα «παράθυρα» γένεσης του πετρελαίου και του φ.α. ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο μητρικό πέτρωμα.

Πίνακας 2-4: Γένεση πετρελαίου και φυσικού αερίου (Iqbal & Satter, 2016).

Type	Temperature (°F)	Typical depth (ft.)	Notes
Oil window	125–275	5,000–10,000+	Heavy oil is formed near the top of oil window. Oil is lighter toward the bottom of the window.
Gas window (thermogenic)	225–400	7,000–15,000+	Gas condensate and wet gas are formed near the top of gas window.
Biogenic gas	<125	Near surface	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου παγκοσμίως

3.1. Εισαγωγή

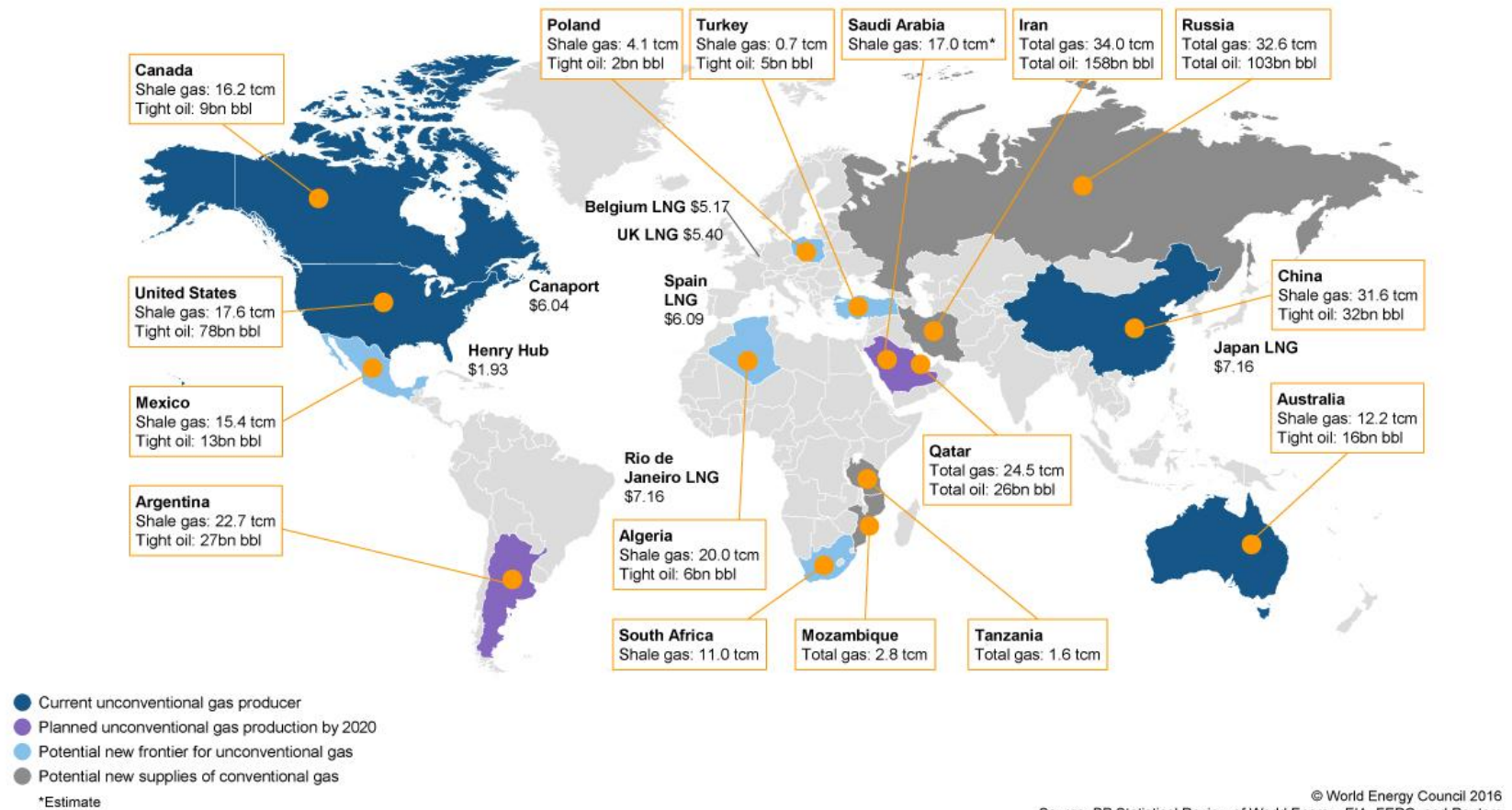
Λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου τα τελευταία χρόνια, έχει πραγματοποιηθεί ένας μεγάλος αριθμός μελετών και εκτιμήσεων για την αποτύπωση των αποθεμάτων του σχιστολιθικού αερίου σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι έρευνες διαφόρων μελετητών, οργανισμών και ινστιτούτων δεν περιορίζουν το ενδιαφέρον τους μόνο στο σχιστολιθικό αέριο της Βόρειας Αμερικής, αλλά το επεκτείνουν σε όλη την υφήλιο, καθώς σημαντικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου εντοπίζονται σε διάφορες χώρες. Χωρίς αμφιβολία, η έρευνα για την εξεύρεση νέων κοιτασμάτων θα οδηγήσει μελλοντικά σε αλλαγές των εκτιμήσεων σχετικά με τα συνολικά και τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα του σχιστολιθικού αερίου παγκοσμίως.

Για περισσότερα από 15 χρόνια, όλες οι πηγές και τα στοιχεία σχετικά με τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, βασίζονταν στη δημοσίευση του Hans Holger Rogner, Γερμανού ειδικού στον τομέα της ενέργειας, η οποία είχε δημοσιευτεί το 1997. Σύμφωνα με τον Rogner, τα παγκόσμια αποθέματα σχιστολιθικού αερίου ανέρχονταν στα 456 Tcm. Για πολλά έτη, τα στοιχεία που είχαν δημοσιευτεί από τον Rogner δεν χρησιμοποιήθηκαν, αλλά μετά την ραγδαία παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες το ενδιαφέρον για τα εν λόγω στοιχεία αυξήθηκε και υιοθετήθηκαν από την Energy Information Administration (EIA), καθώς και από άλλους εμπειρογνώμονες και εκπροσώπους εταιρειών. Δεδομένου ότι τα αποθέματα του σχιστολιθικού αερίου είναι άφθονα, και η αξιοπιστία των εκτιμήσεων τέτοιου είδους αποθεμάτων είναι αμφισβητήσιμη, καθώς εξαρτάται από τις τεχνικές αξιολόγησης των σχιστολιθικών σχηματισμών, κάθε σχετική μελέτη θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με επιφύλαξη.

Σύμφωνα με την EIA, τα παγκόσμια αποθέματα σχιστολιθικού αερίου ανέρχονται σε 200 Tcm, ενώ σύμφωνα με τον International Atomic Energy Agency (IAEA) εκτιμώνται σε 500 Tcm (Εικόνα 3-1).

Unconventional gas, a global phenomenon

Despite the uncertain price environment, unconventional gas has become a global phenomenon with new supplies coming from Australia, China and New Frontier countries.

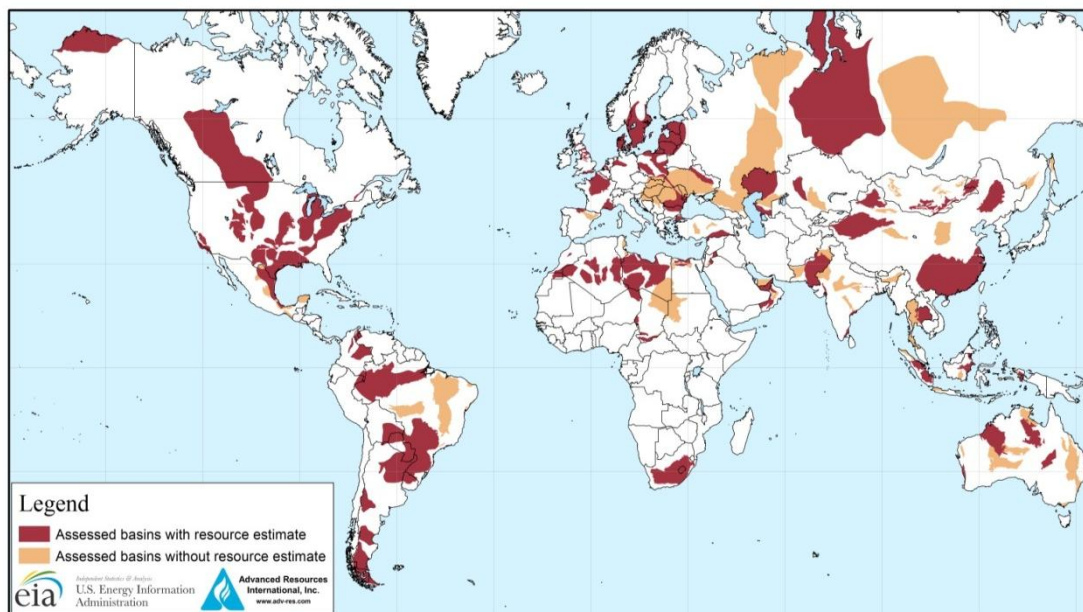


Εικόνα 3-1: Τεχνικός ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου παγκοσμίως (World Energy Council, 2016).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου 58

Αρκετές μελέτες έχουν κυκλοφορήσει τα τελευταία χρόνια από διάφορες πηγές, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται η Advanced Resources International (ARI, 2011, 2013), και η Energy Information Administration (EIA) (Kuuskraetaal, 2011, 2013). Η EIA (2013) έχει προβεί σε ενημέρωση της προηγούμενης εκτίμησής της, στην οποία, εκτός των Ηνωμένων Πολιτειών, λαμβάνονται υπόψη 137 σχιστολιθικοί σχηματισμοί σε 41 χώρες. Σύμφωνα με τη μελέτη «World Shale Oil and Shale Gas Assessment», η οποία διεξήχθη από την ARI και την EIA τον Ιούνιο του 2013, η αξιολόγηση των παγκόσμιων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου περιέλαβε 26 περιοχές, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται 41 μεμονωμένες χώρες.

Στην Εικόνα 3-2 παρουσιάζονται οι λεκάνες των οποίων οι σχηματισμοί αξιολογήθηκαν κατά την διάρκεια της μελέτης των EIA/ARI. Οι περιοχές με κόκκινο χρώμα αντιπροσωπεύουν τις λεκάνες για τις οποίες έγιναν εκτιμήσεις ως προς τους πόρους (resources) του σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου, ενώ για τις περιοχές με κίτρινο χρώμα, αν και αξιολογήθηκαν, δεν έγιναν εκτιμήσεις λόγω της έλλειψης δεδομένων. Οι λευκές περιοχές δεν αξιολογήθηκαν και περιλαμβάνουν σημαντικές παραλείψεις, συμπεριλαμβανομένης της Σαουδικής Αραβίας (Πίνακας 3-1).



Εικόνα 3-2: Χάρτης των λεκανών με αξιολογημένους σχηματισμούς σχιστολιθικού φυσικού αερίου και πετρελαίου (EIA/ARI, 2013).

Τα εκτιμώμενα αποθέματα σχιστολιθικού πετρελαίου και σχιστολιθικού φ.α. στις Ηνωμένες Πολιτείες και σε 137 σχηματισμούς σε 41 άλλες χώρες αντιπροσωπεύουν το 10% του

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

παγκόσμιου αργού πετρελαίου και το 32% του παγκόσμιου φ.α. των τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων (Πίνακας 3-2).

Πίνακας 3-1: Εφαρμογής της μελέτης των EIA/ARI για την αξιολόγηση των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου (EIA/ARI, 2013).

Continent	Region	Number of Countries	Number of Basins	Number of Shale Formations
North America	I. Canada	1	12	13
	II. Mexico	1	5	8
	Subtotal	2	17	21
Australia	III. Australia	1	6	11
South America	IV. N. South America	2	3	3
	V. Argentina	1	4	6
	VI. Brazil	1	3	3
	VII. Other S. South America	4	3	4
	Subtotal	8	13	16
Eastern Europe	VIII. Poland*	3	5	5
	IX. Russia	1	1	2
	X. Other Eastern Europe	3	3	4
	Subtotal	7	9	11
Western Europe	XI. UK	1	2	2
	XII. Spain	1	1	1
	XIII. Other Western Europe	5	5	10
	Subtotal	7	8	13
Europe	Total	14	17	24
Africa	XIV. Morocco**	3	2	2
	XV. Algeria	1	7	11
	XVI. Tunisia	1	1	2
	XVII. Libya	1	3	5
	XVIII. Egypt	1	4	4
	XIX. South Africa	1	1	3
	Subtotal	8	18	27
Asia	XX. China	1	7	18
	XXI. Mongolia	1	2	2
	XXII. Thailand	1	1	1
	XXIII. Indonesia	1	5	7
	XXIV. India/Pakistan	2	5	6
	XXV. Jordan	1	2	2
	XXVI. Turkey	1	2	2
Subtotal	8	24	38	
Total		41	95	137

*Includes Lithuania and Kaliningrad. **Includes Western Sahara & Mauritania

Πίνακας 3-2: Τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου (EIA/ARI, 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%

¹ Advanced Resources International, Inc. (ARI) 2013.

² *Oil & Gas Journal*, Worldwide Report, December 3, 2012; U.S. Geological Survey, An Estimate of Undiscovered Conventional Oil and Gas Resources of the World, 2012, Fact Sheet 2012-3028, March 2012; U.S. Geological Survey, Assessment of Potential Additions to Conventional Oil and Gas Resources of the World (Outside the United States) from Reserve Growth, 2012, Fact Sheet 2012-3052, April 2012.

³ U.S. Energy Information Administration, various reports.

Συνολικά για τις 41 χώρες που αξιολογήθηκαν στη μελέτη των EIA/ARI, τα επιτόπου αρχικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου ανέρχονταν σε 31,138 Tcf και τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα στα 6,634Tcf , μη συμπεριλαμβανομένων των αποθεμάτων των Ηνωμένων Πολιτειών. Με την προσθήκη των αποθεμάτων των Ηνωμένων Πολιτειών, τα επιτόπου αρχικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου ανέρχονται σε 35,782 Tcf και τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα σε 7,795 Tcf (Πίνακας 3-3).

Πίνακας 3-3: Εκτιμήσεις των αρχικά επί τόπου αποθεμάτων και των τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου στις 7 Ηπείρους (EIA/ARI, 2013).

Continent	Risked Gas In-Place (Tcf)	Risked Technically Recoverable (Tcf)
North America (Ex. U.S.)	4,647	1,118
Australia	2,046	437
South America	6,390	1,431
Europe	4,895	883
Africa	6,664	1,361
Asia	6,495	1,403
Sub-Total	31,138	6,634
U.S.	4,644	1,161
TOTAL	35,782	7,795

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

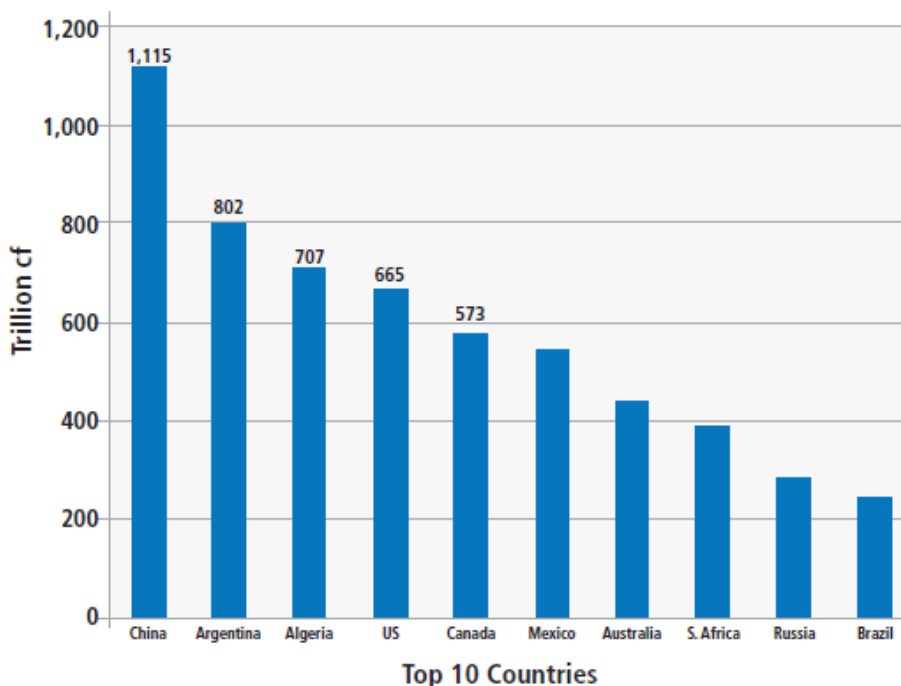
Τα 2/3 των τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου συγκεντρώνονται σε έξι χώρες: Η.Π.Α., Κίνα, Αργεντινή, Αλγερία, Καναδάς και Μεξικό. Στον Πίνακα 3-4 και στην Εικόνα 3-3 παρουσιάζονται οι δέκα χώρες με τα υψηλότερα εκτιμούμενα δυνητικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου. Η Αργεντινή βρίσκεται στη δεύτερη θέση, έχοντας τα υψηλότερα εκτιμούμενα αποθέματα σχιστολιθικού φ.α. στον κόσμο, με 802 Tcf. Η Κίνα έχει τα μεγαλύτερα εκτιμούμενα αποθέματα σχιστολιθικού φ.α. παγκοσμίως με 1115 Tcf και σημειωτέον είναι τρίτη σε μεγαλύτερα αποθέματα σχιστολιθικού πετρελαίου στον κόσμο, με 32 billion bbl.

Εν συνεχεία, ακολουθεί η παρουσίαση των κυριότερων σχιστολιθικών πεδίων φ.α. ανά ήπειρο και χώρα ενδιαφέροντος.

Πίνακας 3-4: Οι δέκα χώρες με τα υψηλότερα εκτιμούμενα 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.



Εικόνα 3-3: Οι δέκα χώρες με τα υψηλότερα εκτιμώμενα ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου (U.S.EIA, 2013).

Εν συνεχεία, ακολουθεί η παρουσίαση των κυριότερων σχιστολιθικών πεδίων φ.α. ανά ήπειρο και χώρα ενδιαφέροντος.

3.2. Βόρεια Αμερική

3.2.1. ΗΠΑ

Οι Ηνωμένες Πολιτείες αποτέλεσαν τον πρωτοπόρο στην ανάπτυξη των μη συμβατικών πηγών ενέργειας, η οποία είχε ήδη ξεκινήσει από την δεκαετία του 1980. Ωστόσο η λεγόμενη «επανάσταση» του σχιστολιθικού φ.α. έλαβε χώρα την προηγούμενη δεκαετία, από το 2005 με τεράστιους ρυθμούς παραγωγής ανά έτος, που είχαν ξεπεράσει κάθε προηγούμενο για την εποχή. Η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου συνεχίζεται να αυξάνεται με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό, ενώ το 2015 σημειώθηκε η μεγαλύτερη τιμή της, η οποία έφτασε τα 15,213 Bcf (Πίνακας 3-5) (Εικόνα 3-4).

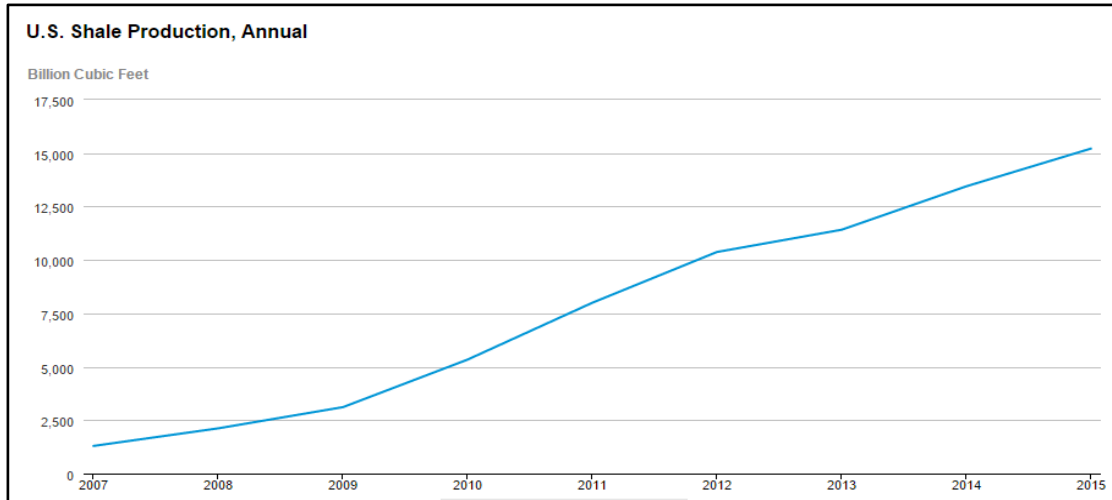
Πίνακας 3-5: Παραγωγή σχιστολιθικού φυσικού αερίου στις ΗΠΑ (ΕΙΑ, 2016).

U.S. Shale Production (BillionCubicFeet)	Year
1,293	2007
2,116	2008
3,110	2009
5,336	2010
7,994	2011

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

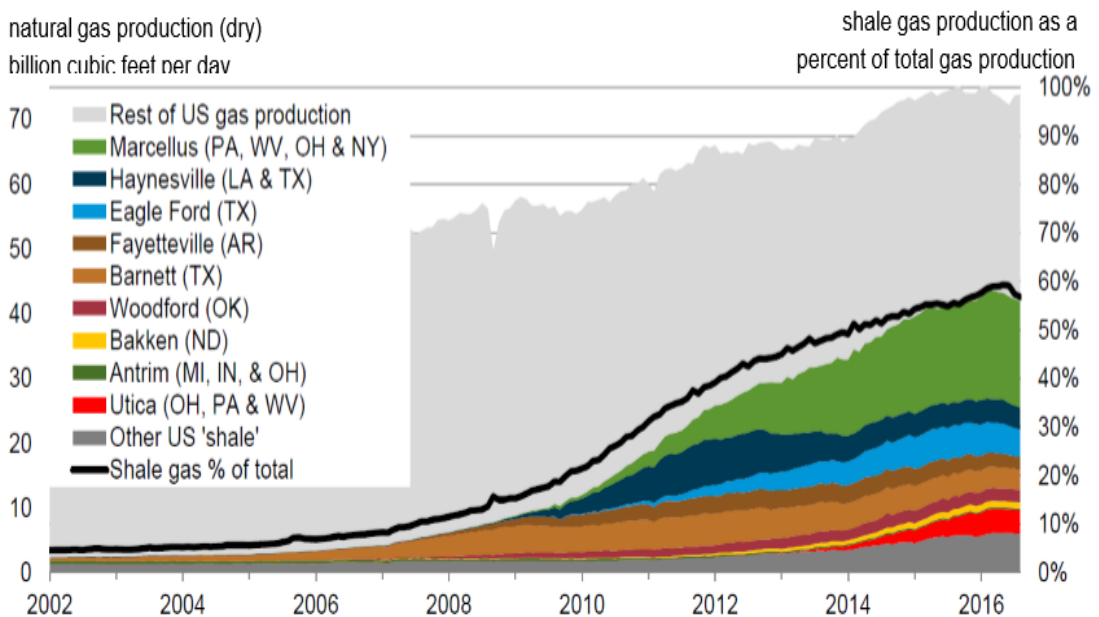
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο . Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

10,371	2012
11,415	2013
13,447	2014
15,213	2015



Εικόνα 3-4: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ την περίοδο 2007-2015 (ΕΙΑ, 2016).

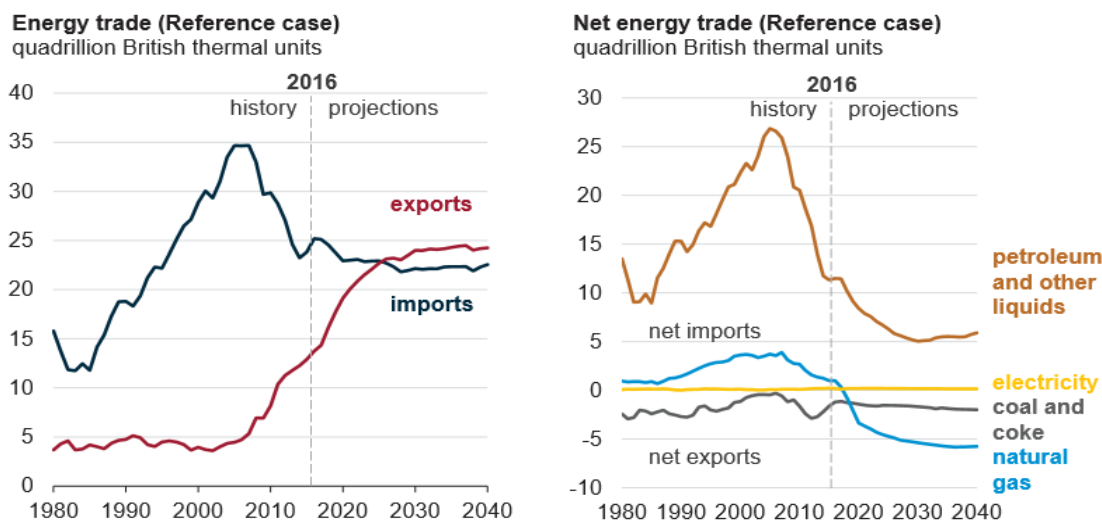
Σημειωτέον, η παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου κατέγραψε τον Αύγουστο του 2016, την τιμή των 41,9 Bcf/d, η οποία αντιστοιχεί περίπου στο 57% της συνολικής παραγωγής ξηρού φ.α. στις Ηνωμένες Πολιτείες, η οποία ανέρχεται σε 73,9 Bcf/d (Εικόνα 3-5).



Εικόνα 3-5: Παραγωγή σχιστολιθικού συναρτήσει ξηρού φυσικού αερίου στις Η.Π.Α (ΕΙΑ, 2017).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Οι αλλαγές που πραγματοποιούνται στο ενεργειακό σκηνικό, μετατρέπουν τις Ηνωμένες Πολιτείες από εισαγωγέα, σε καθαρό εξαγωγέα ενέργειας μέχρι το 2026, όπως προβλέπεται από την υπόθεση αναφοράς της ΕΙΑ 2017, καθώς οι εξαγωγές φ.α. αυξάνονται ενώ του πετρελαίου αντίστοιχα μειώνονται (Εικόνα 3-6).



Εικόνα 3-6: Η διαμορφούμενη τάση ενεργειακού εμπορίου στην αγορά των Η.Π.Α. (ΕΙΑ, 2017).

Οι Ηνωμένες Πολιτείες διαθέτουν μεγάλα αποθέματα όχι μόνο σχιστολιθικού αερίου αλλά και άλλων μη συμβατικών πηγών φ.α. που αναφέραμε στο 1ο κεφάλαιο - έγκλειστο αέριο και μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα (CBM). Από τα 74 Tcm των εναπομείναντων αποθεμάτων φ.α. στο τέλος του 2011, τα μισά αντιστοιχούν σε μη συμβατικά (Πίνακας 3-6).

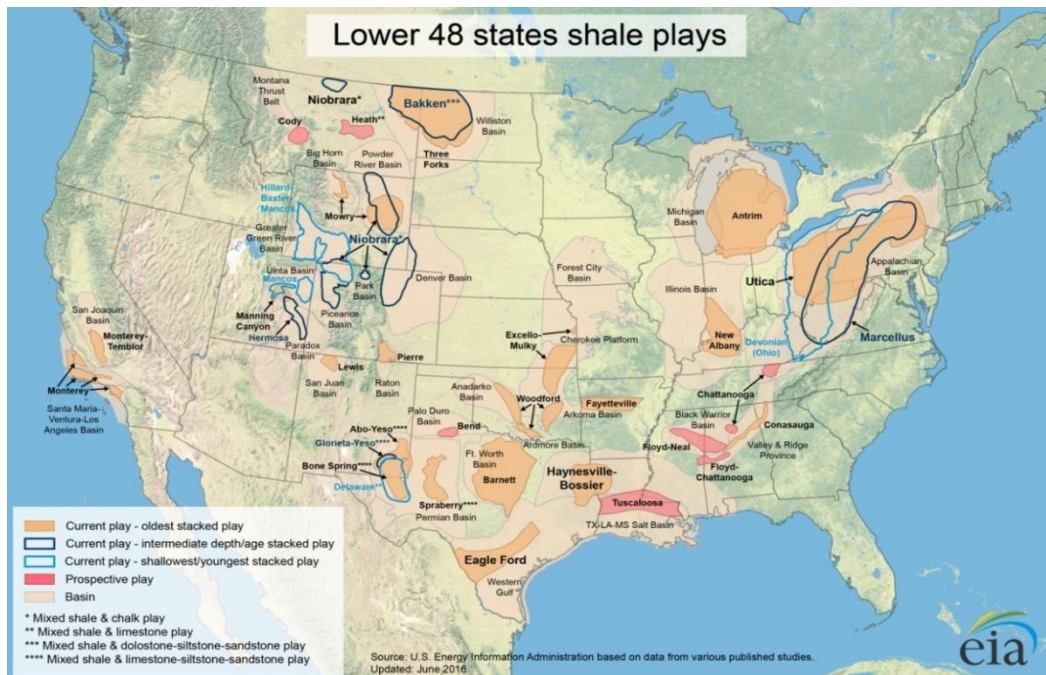
Πίνακας 3-6: Ανακτήσιμα αποθέματα και παραγωγή συμβατικού και μη συμβατικού αερίου στις ΗΠΑ (IEA, 2012).

	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%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

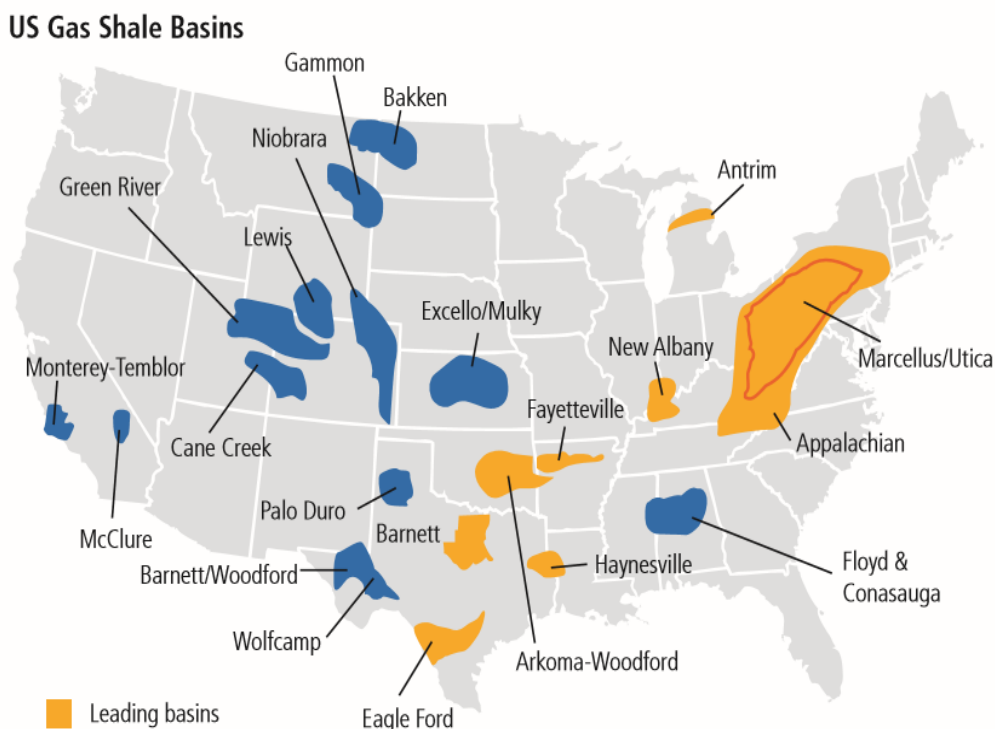
Τα κοιτάσματα μη συμβατικού φ.α. στις Ηνωμένες Πολιτείες κατανέμονται σε πολλά μέρη της χώρας. Τα αποθέματα μεθανίου από στρώματα γαιάνθρακα (CBM) βρίσκονται κυρίως στις πολιτείες Rocky Mountain του Wyoming, Γιούτα, Νέο Μεξικό, Κολοράντο και Μοντάνα. Τα αποθέματα έγκλειστου και σχιστολιθικού φ.α. βρίσκονται σε έναν αριθμό διαφορετικών λεκανών που εκτείνεται σε μεγάλα τμήματα των Ηνωμένων Πολιτειών, μερικά από τα οποία είναι κοινά με τον Καναδά και το Μεξικό. Δύο από τους μεγαλύτερους σχιστολιθικούς σχηματισμούς που έχουν εξακριβωθεί, οι Marcellus και Haynesville, θεωρούνται ως τα μεγαλύτερα κοιτάσματα φ.α. στον κόσμο.

Οι εμφανίσεις του σχιστολιθικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι κατανεμημένες σε μεγάλα τμήματα των, ενώ το μεγαλύτερο μέρος των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου εντοπίζονται στις 48 χαμηλότερες νοτιότερες πολιτείες. (Εικόνα 3-7). Οι κυριότεροι σχηματισμοί σχιστολιθικού αερίου είναι οι σχηματισμοί Barnett, Fayetteville, Haynesville, Marcellus, Woodford, και Eagle Ford, Bakken , Niobrara, Utica, Wolfcamp, και Monterey (Εικόνα 3-8), οι οποίοι θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.



Εικόνα 3-7: Εμφανίσεις σχιστολιθικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες (EIA, 2016).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου



Εικόνα 3-8: Οι 23 σημαντικές λεκάνες και σχηματισμοί σχιστολιθικού φυσικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες (Kennedy, Knecht, & Knecht, 2012) (Warlick International, 2009).

Στις Η.Π.Α. υπάρχουν εν λειτουργία περίπου 180.000 γεωτρήσεις παραγωγής σχιστολιθικού αερίου, ενώ ορύσσονται 18.000 νέες γεωτρήσεις κατ' έτος (Πίνακας 3-7). Αυτή τη στιγμή, στις ΗΠΑ υπάρχουν 665 Tcf τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού φ.α. και 58 TRR πετρελαίου, όπως παρατηρούμε και στον κάτωθι πίνακα.

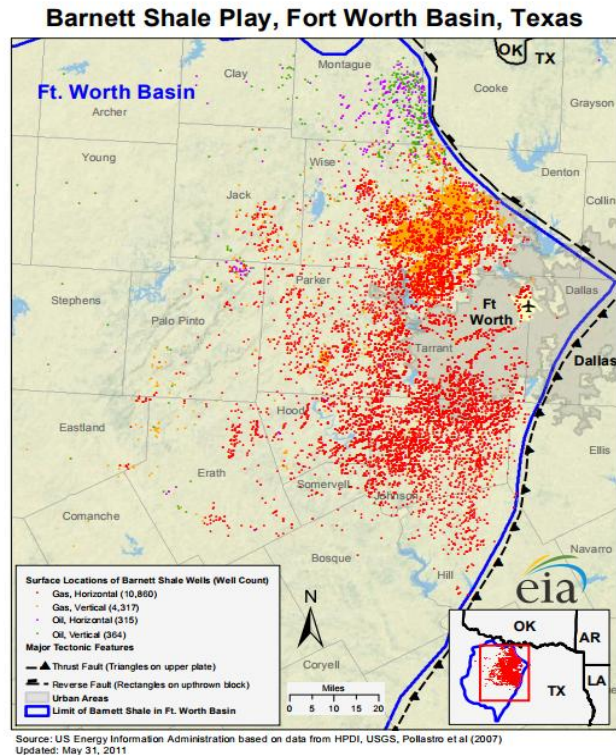
Πίνακας 3-7: Γεωτρήσεις στους σχιστολιθικούς σχηματισμούς και εξέδρες στις ΗΠΑ (Drilling Information Database, 2014).

Shale Play	Vertical Well	Horizontal Wells		Total Wells	Rigs Running	
		Gas	Oil		Gas Dir	Oil Dir
Barnett	5,005	14,199	0	19,204	11	11
Marcellus	2,462	6,999	10	9,471	81	0
Fayetteville	65	5,405	0	5,470	9	0
Woodford	304	1,565	748	2,617	6	6
Haynesville	75	3,278	0	3,353	39	1
Bakken	248	0	10,336	10,584	0	192
Eagle Ford	56	3,487	7,173	10,716	10	206
Niobrara	1,969	0	3,594	5,563	16	46
Utica	107	291	179	577	27	22
Wolfcamp	148	368	2,224	2,606	1	243
Monterey	451 oil	0	29	480	45	0
Total US land rigs running					313	1,539

3.2.1.1. Σχηματισμός Barnett

Ο πρώτος σύγχρονος εμπορικός σχιστολιθικός σχηματισμός ήταν ο σχηματισμός Barnett, ο οποίος ανακαλύφθηκε τη δεκαετία του 1950 αλλά τέθηκε σε εμπορική αξιοποίηση το 1981.

Ο σχηματισμός Barnett βρίσκεται στο βόρειο-κεντρικό (north-central) Texas εντός της λεκάνης Fort Worth (Εικόνα 3-9). Ο σχηματισμός καλύπτει έκταση 7.000 τετραγωνικών μιλίων, εκ των οποίων 4,065 τετραγωνικά μίλια τελούν σήμερα υπό εκμετάλλευση. Το βάθος κυμαίνεται από 6.500 έως 8.500 ft και το πάχος αυξάνεται από 100 έως 600 ft. από δυτικά προς τα ανατολικά. (Πίνακας 3-8). Τα αρχικά επιτόπου αποθέματα φτάνουν τα 327 Tcf, με τα 44 Tcf να εκτιμώνται ως τεχνικός



Εικόνα 3-9: Χάρτης του σχιστολιθικού σχηματισμού Barnett (EIA, 2011).

ανακτήσιμα.

Πίνακας 3-8: Χαρακτηριστικά σχηματισμού Barnett

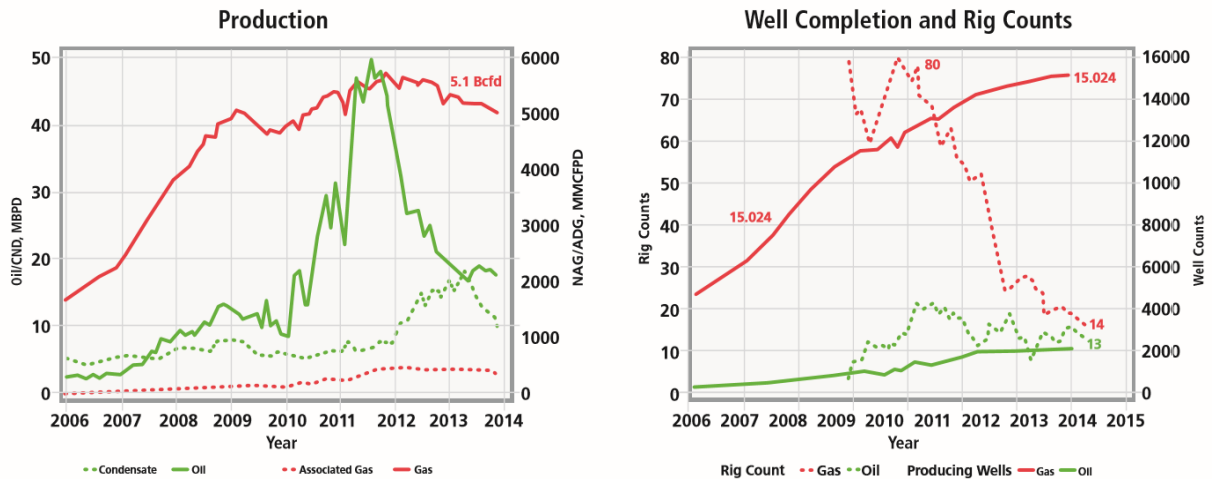
Barnett Shale	
Geologic Age	Late Mississippian
Area Size, mi. ²	5,400 (4,065 active)
Depth, ft.	6,500–8,500
Thickness, ft.	100–600
TOC, %	4–5
Thermal Maturity, R ₀ %	1.3–2.1
Porosity, %	4–8
Well Avg. IP, MMcfd	2.5
Horizontal Lateral, ft.	3,950–4,350
TRR, Tcf	43
EUR/Well, Bcf	1.6
Pressure Gradient, psi/ft	0.43–0.45
Well Spacing, Ac	116
First Production	1981
<ul style="list-style-type: none"> ■ Largest onshore gas shale basin in the world until 2012 ■ Proving ground for shale technology: slickwater fractures 	

Μέχρι το 2012, όπου την θέση του κατέλαβε ο σχηματισμός Marcellus, ο Barnett ήταν η δεύτερη μεγαλύτερη λεκάνη σχιστολιθικού αερίου στον κόσμο, επιτυγχάνοντας ημερήσια τιμή παραγωγής 5,6 Bcf/d. (Εικόνα 3-10). Περισσότερες από 15.000 γεωτρήσεις έχουν ολοκληρωθεί στον σχηματισμό Barnett. Ο αριθμός των ενεργών γεωτρύπανων (rig activity) έχει μειωθεί από την υψηλή τιμή των 80 στην τρέχουσα (2015) των 11 γεωτρύπανων αερίου (gas-directed), ενώ επίσης στον σχηματισμό δουλεύουν 13

γεωτρύπανα πετρελαίου (oil-directed rigs) (Εικόνα 3-10).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

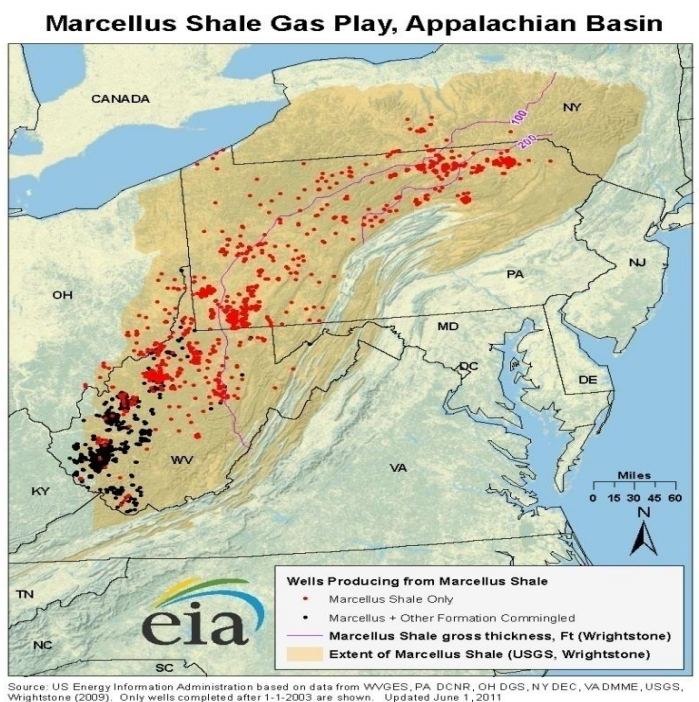
Σύμφωνα με το ΑΕΟ 2016, ο σχηματισμός Barnett προβλέπεται να συνεισφέρει το 6,8% της συνολικής παραγωγής σχιστολιθικού φ.α. τα έτη 2014-2040. Η τιμή της παραγωγής κορυφώθηκε τον Νοέμβριο του 2011 και μειώθηκε κατά 38% τον Αύγουστο του 2016. Επιπρόσθετα, η εκτίμηση της ΕΙΑ για ανάκτηση από τον σχηματισμό Barnett την περίοδο 2014-2040 έχει αυξηθεί σε 41,2 Tcf. Αντίστοιχα, στο ΑΕΟ2016 η ίδια εκτίμηση διαμορφώνεται κατά 9% (ή 3,5 Tcf) πάνω από την εκτίμηση του ΑΕΟ2015 και 8% (ή 3 Tcf) υψηλότερα από την εκτίμηση του ΑΕΟ2014 (Hughes, 2016).



Εικόνα 3-10: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου-πετρελαίου, αριθμός γεωτρήσεων και καταμέτρηση γεωτρήσεων (rig counts) στον σχηματισμό Barnett (Drilling Information Database, 2014).

3.2.1.2. Σχηματισμός Marcellus

Μετά τον Barnett, ο επόμενος εμπορικός σχηματισμός σχιστολιθικού φ.α. που εισήλθε στην παραγωγική διαδικασία το 2005, ήταν ο Marcellus. Ο σχηματισμός Marcellus έχει έκταση 95,000 τετραγωνικών μιλίων, επισκίασε τον σχηματισμό Barnett, και αποτελεί το μεγαλύτερο σε έκταση σχηματισμό σχιστολιθικού φ.α. στον κόσμο καθώς εκτείνεται σε έξι πολιτείες στα βορειοανατολικά των Η.Π.Α. (Εικόνα



Εικόνα 3-11:Χάρτης σχηματισμού Marcellus (EIA 2011).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμο

3-11). Το βάθος του κυμαίνεται από τα 4000 ft έως 8500 ft και το μέσο πάχος του από 50 έως 200 ft. Τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα εκτιμώνται στα 410 Tcf (Πίνακας 3-9).

Μέχρι το 2014, στον σχηματισμό Marcellus, είχαν ολοκληρωθεί 5,400 γεωτρήσεις με συνολικό ρυθμό παραγωγής 10.1 Bcf/d. Περίπου 78 εξέδρες αερίου (gas-directed rigs) λειτουργούσαν στον σχηματισμό Marcellus από το 2014, εκ των οποίων η παραγωγή υγρού αερίου και η αρχική παραγωγή σε ορισμένη περιοχές να είναι υψηλότερες από των σχηματισμών Barnett και Fayetteville, ενώ είναι ίσες με τον σχηματισμό Woodford. Σήμερα, στον σχηματισμό Marcellus τελούν εν λειτουργία 9.600 γεωτρήσεις παραγωγής φ.α., ενώ για

Πίνακας 3-9:Χαρακτηριστικά σχηματισμού Marcellus

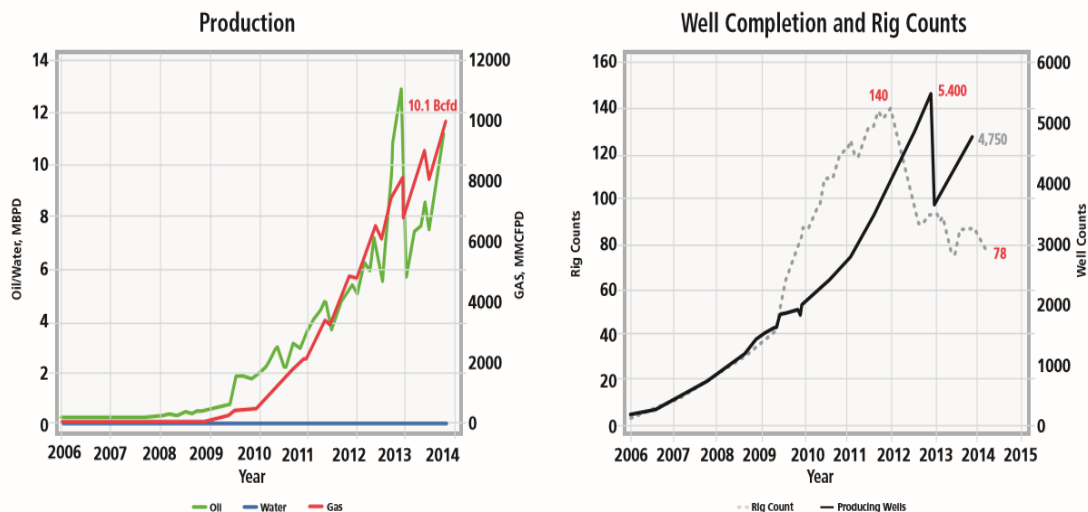
Marcellus Shale	
Geologic Age	Devonian
Area Size, mi. ²	95,000
Depth, ft.	4,000–8,500
Thickness, ft.	50–200
TOC, %	2–8
Thermal Maturity, R _o %	1.3–2.4
Porosity, %	4–8
Well Avg. IP, MMcfd	3.5
Horizontal Lateral, ft.	4,200–4,900
TRR, Tcf	410
EUR/Well, Bcf	4.5
Pressure Gradient, psi/ft.	0.60–0.70
Well Spacing, Ac	80
First Production	2005
<ul style="list-style-type: none"> ■ Extensive play ■ Currently largest US gas resource 	

την πλήρη ανάπτυξής του εκτιμάται ότι απαιτούνται περισσότερες από 50.000 γεωτρήσεις.

Σύμφωνα με το ΑΕΟ2016, ο σχηματισμός Marcellus προβλέπεται να συνεισφέρει 36% του συνόλου της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α. από το 2014 έως το 2040 (Εικόνα 3-12). Η αθροιστική παραγωγή μέχρι τα μέσα του 2016 ήταν 21,3 Tcf. Η παραγωγή κορυφώθηκε το Φεβρουάριο του 2016, ενώ

τον Αύγουστο του 2016 μειώθηκε κατά 5%. Η εκτίμηση της ΕΙΑ για τη συνολική ανάκτηση από τον σχηματισμό Marcellus την περίοδο 2014-2040 έχει αυξηθεί σε 215 Tcf. Αντίστοιχα, στο ΑΕΟ2016 η ίδια εκτίμηση διαμορφώθηκε κατά 47% (ή 68 Tcf) πάνω από την αντίστοιχη του ΑΕΟ2015 και 76% (ή 93 Tcf) υψηλότερα από την εκτίμηση του ΑΕΟ2014 (Hughes, 2016).

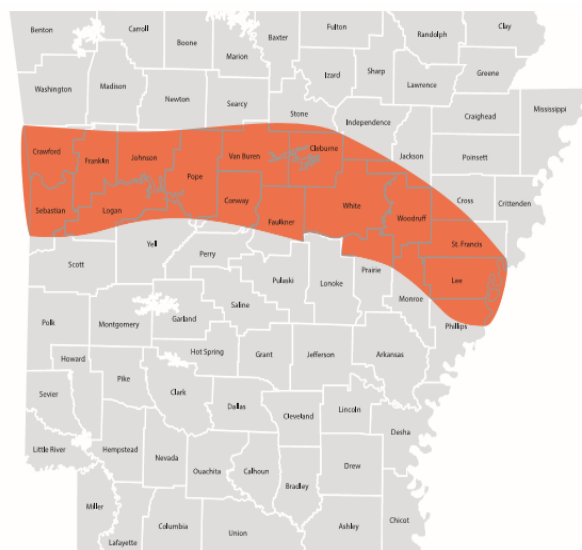
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως



Εικόνα 3-12: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, αριθμός γεωτρήσεων και καταμέτρηση γεωτρυπάνων στον σχηματισμό Marcellus (Drilling Information Database, 2014).

3.2.1.3. Σχηματισμός Fayetteville

Ο σχηματισμός Fayetteville βρίσκεται στην πλευρά του Arkansas στη λεκάνη Arkoma. (Εικόνα 3-13). Καταλαμβάνει έκταση 9000 τετραγωνικών μιλίων, το βάθος του κυμαίνεται από 1.000 έως 7.000 ft και το μέσο πάχος του από 20 έως 200 ft. Τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματά του



Πίνακας 3-10: Χαρακτηριστικά σχηματισμού Fayetteville

Fayetteville Shale	
Geologic Age	Late Mississippian
Area Size, mi. ²	9,000
Depth, ft.	1,000–7,000
Thickness, ft.	20–200
TOC, %	4–9.8
Thermal Maturity, R _o %	1.5–4.0
Porosity, %	4–5
Well Avg. IP, MMcf/d	2.8
Horizontal Lateral, ft.	4,700–5,500
TRR, Tcf	32
EUR/Well, Bcf	2.1
Pressure Gradient, psi/ft	0.38–0.45
Well Spacing, Ac	80
First Production	2006
■ First land grab after the Barnett was proven	

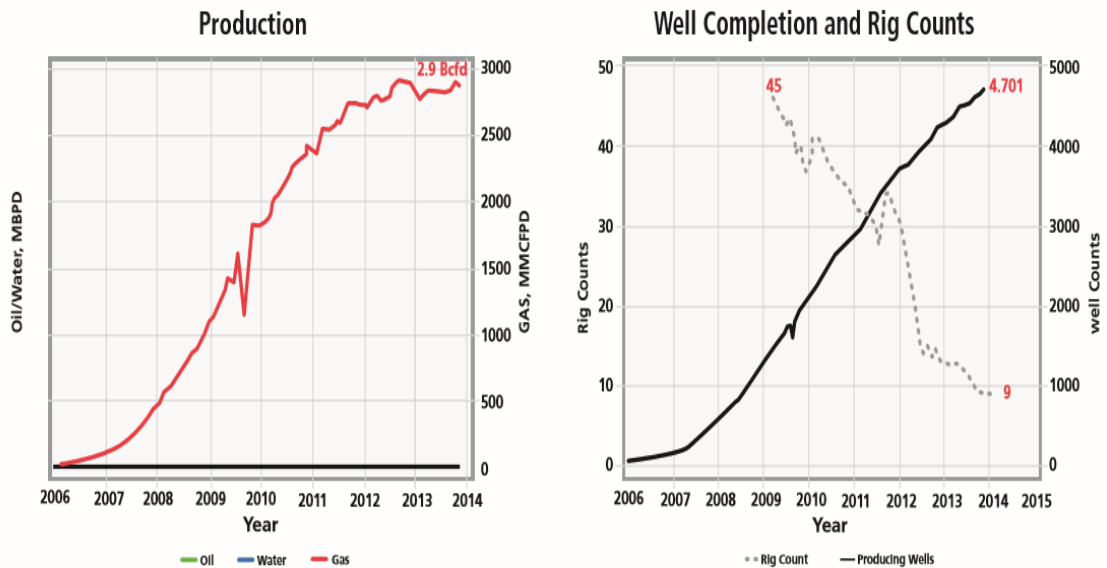
Εικόνα 3-13: Χάρτης σχηματισμού Fayetteville (Warlick International, 2009)

ανέρχονται σε 32 Tcf (Πίνακας 3-10). Η παραγωγή από τον σχηματισμό Fayetteville ξεκίνησε το 2006, ένα χρόνο μετά την έναρξη της παραγωγής από τον Marcellus. Αποτελεί ένα σχηματισμό ξηρού σχιστολιθικού φ.α., όπως ο σχηματισμός Barnett. Σήμερα στον σχηματισμό Fayetteville τελούν εν λειτουργία περισσότερες από 5.300 γεωτρήσεις

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

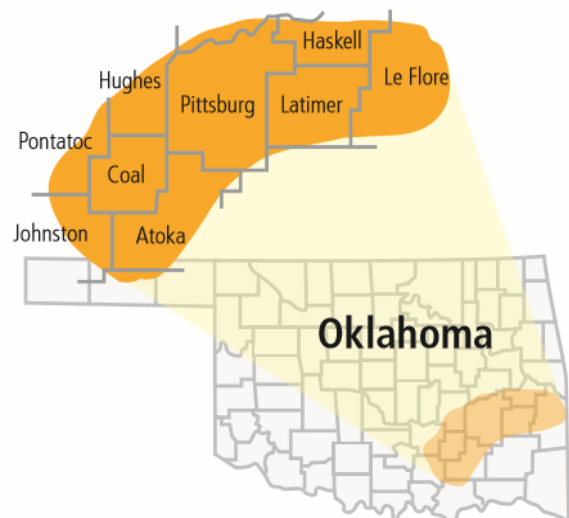
παραγωγής φ.α., ενώ εκτιμάται ότι απαιτούνται περίπου 11.000 ακόμα για την πλήρη ανάπτυξη του (Εικόνα 3-14). Σύμφωνα με το ΑΕΟ 2016, ο σχηματισμός Fayetteville αναμένεται να συνεισφέρει 4,2% στο σύνολο της παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α. κατά την περίοδο 2014-2040. Η παραγωγή κορυφώθηκε τον Νοέμβριο του 2012 και μειώθηκε κατά 33% τον Αύγουστο του 2016. Η αθροιστική παραγωγή μέχρι τα μέσα του 2016 ήταν 7 Tcf. Σύμφωνα με το ΑΕΟ 2016 εκτιμάται ότι η συνολική ανάκτηση για την περίοδο 2014-2040 θα ανέλθει σε 25,5 Tcf.



Εικόνα 3-14: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, αριθμός γεωτρήσεων και καταμέτρηση γεωτρυπάνων στον σχηματισμό Fayetteville (Drilling Information Database, 2014)

3.2.1.4. Σχηματισμός Woodford

Ο σχηματισμός Woodford βρίσκεται στην νοτιοανατολική Οκλαχόμα και στο δυτικό Αρκάνσας, στις λεκάνες Ardmore και Arkoma (Εικόνα 3-15). Καταλαμβάνει έκταση 11.000 τετραγωνικών μιλίων, το βάθος του κυμαίνεται από 5.000 έως 9.500 ft και το μέσο πάχος του από 15 έως 250ft. Τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματά του ανέρχονται σε 22 Tcf (Πίνακας 3-11). Η παραγωγή φ.α. από τον σχηματισμό



Εικόνα 3-15: Χάρτης σχηματισμού Woodford (Warlick International, 2009).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Woodford Shale	
Geologic Age	U. Devonian/L. Mississippian
Area Size, mi. ²	11,000
Depth, ft.	5,000–9,500
Thickness, ft.	15–250
TOC, %	4–8
Thermal Maturity, R _o %	1.2–2.8
Porosity, %	5–6
Well Avg. IP, MMcfd	3.6
Horizontal Lateral, ft.	2,500–5,000
TRR, Tcf	22
EUR/Well, Bcf	2.1
Pressure Gradient, psi/ft	0.50–0.55
Well Spacing, Ac	160
First Production	2006
<ul style="list-style-type: none"> ■ Relatively complex structure ■ Reservoir navigation and well placement are critical. 	

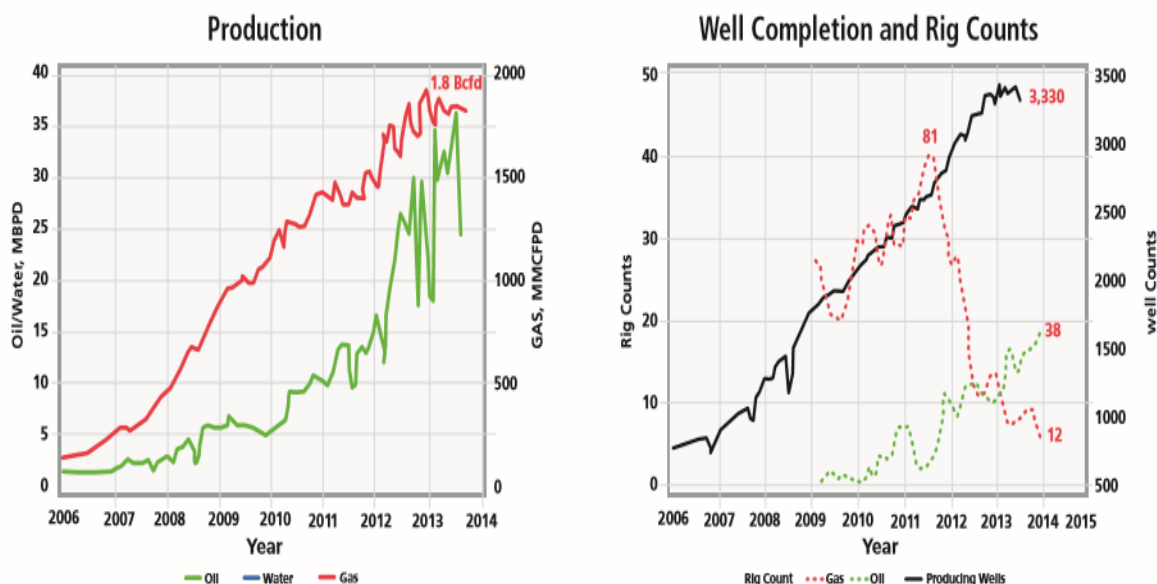
Woodford ξεκίνησε το 2006. Ο Woodford δεν είναι ένας τυπικός σχηματισμός ξηρού σχιστολιθικού αερίου διότι διαθέτει και κάποιες ποσότητες υγρών.

Σήμερα στον σχηματισμό Woodford τελούν εν λειτουργία περισσότερες από 4.700 γεωτρήσεις παραγωγής φ.α., ενώ εκτιμάται ότι απαιτούνται περίπου 14.000 γεωτρήσεις ακόμα για την πλήρη ανάπτυξη του (Εικόνα 3-16).

Σύμφωνα με το ΑΕΟ 2016, ο σχηματισμός Woodford αναμένεται

Πίνακας 3-11: Χαρακτηριστικά σχηματισμού Woodford

να συνεισφέρει 4% στο σύνολο της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου κατά την περίοδο 2014-2040 στις Η.Π.Α. Η παραγωγή κορυφώθηκε τον Αύγουστο του 2014 και μειώθηκε κατά 13% τον Αύγουστο του 2016. Η αθροιστική παραγωγή μέχρι τα μέσα του 2016 ήταν 4,9 Tcf. Σύμφωνα με το ΑΕΟ 2016 εκτιμάται ότι η συνολική ανάκτηση για την περίοδο 2014-2040 θα ανέλθει σε 25,5 Tcf.



Εικόνα 3-16: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, αριθμός γεωτρήσεων και καταμέτρηση γεωτρυπάνων στον σχηματισμό Woodford (Drilling Information Database, 2014).

3.2.1.5. Σχηματισμός Haynesville

Ο σχιστόλιθος Haynesville συναντάται στη βόρειο-δυτική Louisiana και το ανατολικό Texas (Εικόνα 3-17). Ορισμένοι γεωλόγοι πιστεύουν ότι σχιστόλιθοι Haynesville και Bossier ταυτίζονται, αλλά ο Bossier εμφανίζεται συχνά ως ξεχωριστό τμήμα πάνω από τον Haynesville. Ο σχηματισμός Haynesville καταλαμβάνει έκταση 9.000 τετραγωνικών μιλίων, το βάθος του κυμαίνεται από 10.500 έως 13.500 ft και το πάχος του από 200 έως 300 ft. Τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματά του ανέρχονται σε 75 Tcf (Πίνακας 3-12).



Εικόνα 3-17: Χάρτης σχηματισμού Haynesville

Πίνακας 3-12: Χαρακτηριστικά σχηματισμού Haynesville

Haynesville Shale	
Geologic Age	Upper Jurassic
Area Size, mi. ²	9,000
Depth, ft.	10,500–13,500
Thickness, ft.	200–300
TOC, %	0.5–4
Thermal Maturity, R _o %	1.7–2.8
Porosity, %	7–10+
Well Avg. IP, MMcfd	14+
Horizontal Lateral, ft.	4,400–4,700
TRR, Tcf	75
EUR/Well, Bcf	6.5
Pressure Gradient, psi/ft	0.7–0.9
Well Spacing, Ac	80
First Production	2008
<ul style="list-style-type: none"> ■ Deep, hot, overpressured ■ High IPs and recovery 	

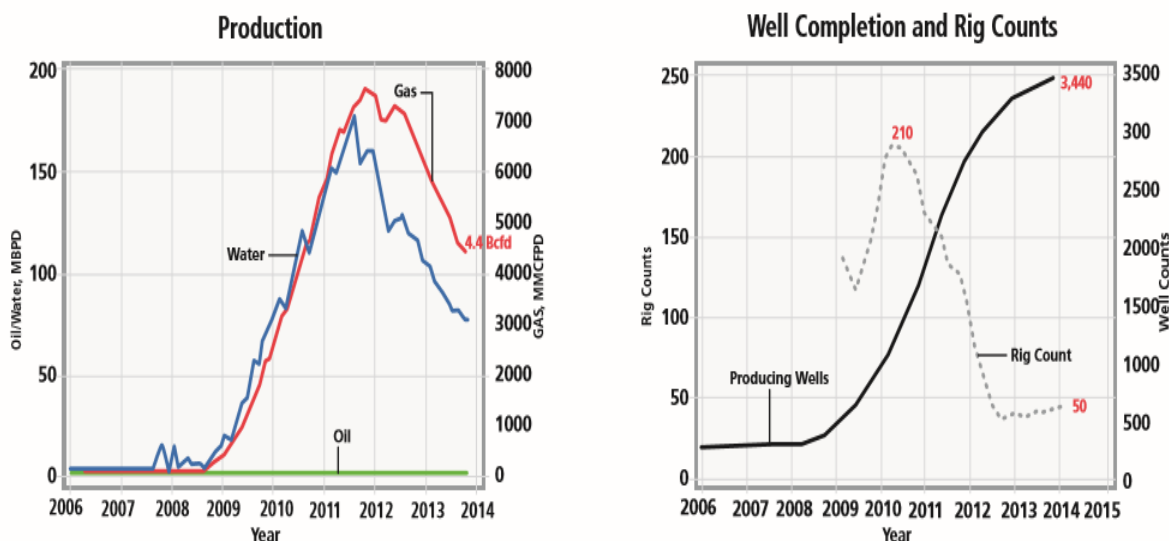
Η παραγωγή από τον σχηματισμό Haynesville ξεκίνησε το 2008, δύο χρόνια αφότου είχε ξεκινήσει η παραγωγή από τους σχηματισμούς Fayetteville και Woodford. Ο σχιστόλιθος Haynesville είχε μεγαλύτερο βάθος, υψηλότερη θερμοκρασία και υψηλότερο πορώδες από τους προηγούμενους σχηματισμούς σχιστολιθικού αερίου. Ο σχηματισμός έδωσε την υψηλότερη συνολική ημερήσια παραγωγή (14+ MMcfd) και τη μεγαλύτερη παραγωγή ανά γεώτρηση (6,5 Bcf ανά well), από τους τέσσερις προηγούμενους

σχηματισμούς σχιστολιθικού αερίου. Ο Haynesville παρουσίασε, επίσης, τη σημαντικότερη αύξηση στην παραγωγή, φτάνοντας σε ημερήσια παραγωγή 7,5 Bcf/d, συγκριτικά με τους σχηματισμούς Barnett και Marcellus (5,7 Bcf/d και 10,1 Bcf/d, αντίστοιχα) (Εικόνα 3-18).

Σήμερα στον σχηματισμό Haynesville τελούν εν λειτουργία περισσότερες από 3.600 γεωτρήσεις παραγωγής φ.α., ενώ εκτιμάται ότι απαιτούνται περίπου 17.000 ακόμα για την

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

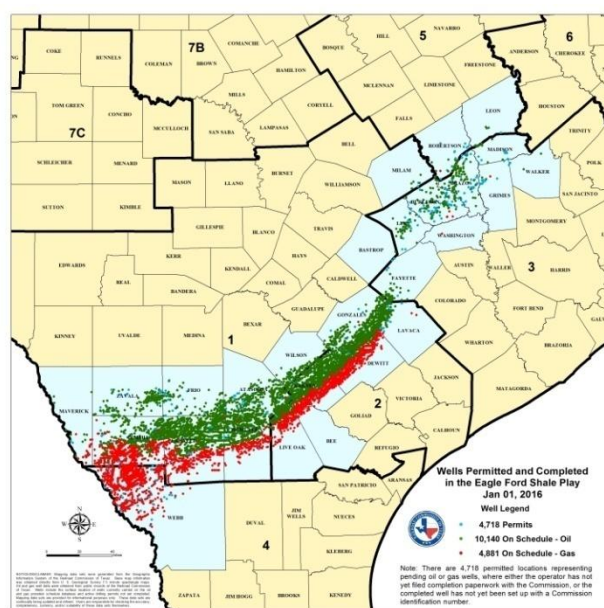
πλήρη ανάπτυξη του. Σύμφωνα με το ΑΕΟ 2016, ο σχηματισμός Haynesville αναμένεται να συνεισφέρει κατά 15% στη συνολική παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α. κατά την περίοδο 2014-2040. Η παραγωγή κορυφώθηκε τον Ιανουάριο του 2012 και μειώθηκε κατά 52% τον Αύγουστο του 2016. Η αθροιστική παραγωγή μέχρι τα μέσα του 2016 ανήλθε σε 12,5 Tcf. Σύμφωνα με το ΑΕΟ2016 εκτιμάται ότι η συνολική ανάκτηση για την περίοδο 2014-2040 θα ανέλθει σε 92 Tcf.



Εικόνα 3-18: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου και αριθμός γεωτρήσεων στον σχηματισμό Haynesville (Drilling Information Database, 2014).

3.2.1.6. Σχηματισμός Eagle Ford

Ο σχηματισμός Eagle Ford βρίσκεται κάτω από το Austin Chalk στο νότιο Τέξας και εκτείνεται από το Houston μέχρι το Laredo (Εικόνα 3-19). Έχει τρία «παράθυρα» υδρογονανθράκων: παράθυρο πετρελαίου, ξηρού αερίου και υγρού αερίου, κατά μήκος των συνόρων της λεκάνης Burgos στο Μεξικό (Εικόνα 3-20). Ο σχηματισμός Eagle Ford θεωρείται ότι είναι το μητρικό πέτρωμα των υδρογονανθράκων στους σχηματισμούς Austin Chalk και Edwards,

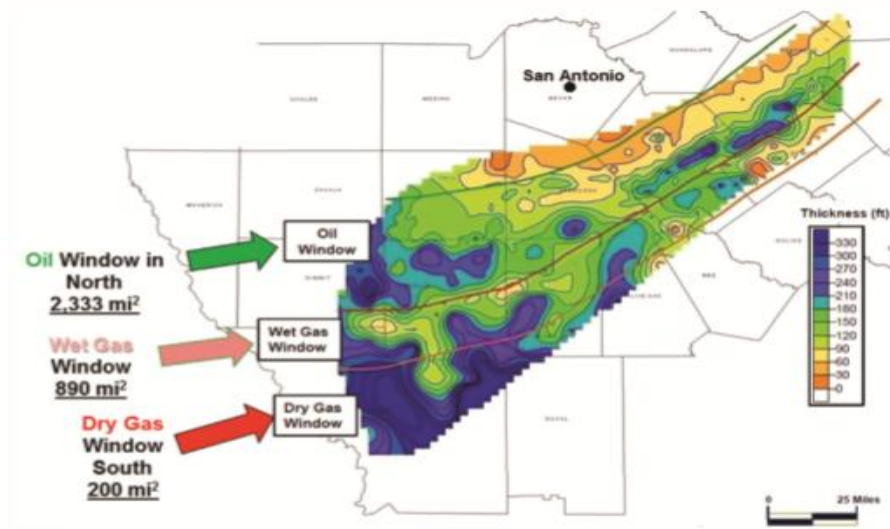


Εικόνα 3-19: Χάρτης σχηματισμού Eagle Ford

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

που βρίσκονται επίσης πάνω από τον σχιστόλιθο Eagle Ford. Ο σχηματισμός βρίσκεται σε βάθος το οποίο κυμαίνεται από 7.000 έως 12.000 ft και έχει πάχος από 100 έως 475 ft.



Εικόνα 3-20: Απεικόνιση παραθύρων φάσης του σχηματισμού EagleFord (Usman & Nathan, 2016)

Τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα φ.α. ανέρχονται σε 22 Tcf και πετρελαίου σε 8,0 billion bbl (Πίνακας 3-13). Η παραγωγή στον σχηματισμό EagleFord ξεκίνησε το 2006. Σήμερα τελούν εν λειτουργία περισσότερες από 15.500 γεωτρήσεις παραγωγής φ.α., ενώ εκτιμάται ότι απαιτούνται περίπου 21.000 ακόμα για την πλήρη ανάπτυξή του (Εικόνα 3-21). Πολλές από τις υφιστάμενες γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πετρελαίου με συμπαράγωγή αερίου.

Σύμφωνα με το ΑΕΟ 2016, ο σχηματισμός Eagle Ford αναμένεται να συνεισφέρει κατά 5,8% στη συνολική παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α. κατά την περίοδο 2014-2040. Η παραγωγή κορυφώθηκε τον Σεπτέμβριο του 2015 και μειώθηκε κατά 17% τον Αύγουστο του 2016. Η αθροιστική παραγωγή μέχρι τα μέσα του 2016 ανήλθε σε 8,2 Tcf. Σύμφωνα με το ΑΕΟ 2016 εκτιμάται ότι η συνολική ανάκτηση για την περίοδο 2014-2040 θα ανέλθει σε 35 Tcf.

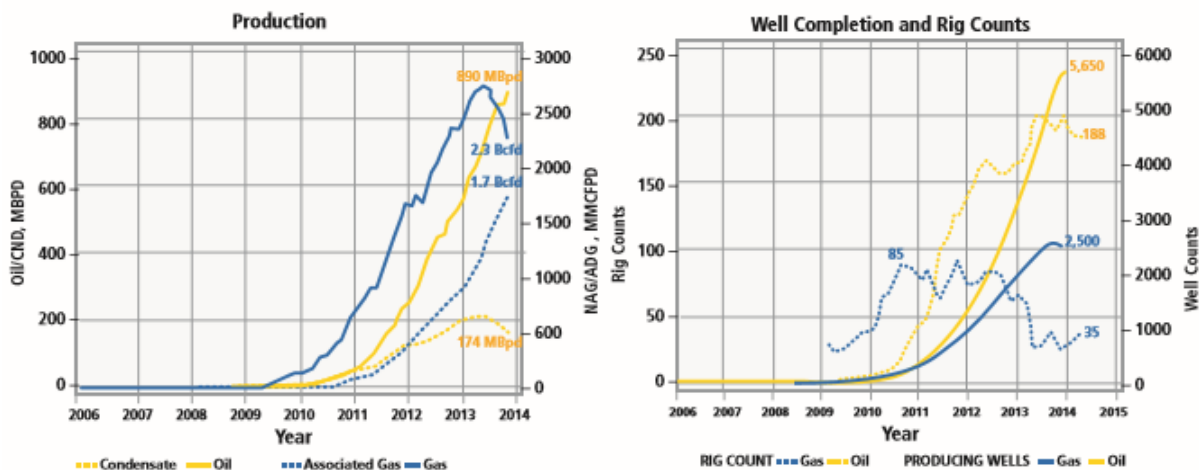
Πίνακας 3-13: Χαρακτηριστικά σχηματισμού Eagle Ford

Eagle Ford shale	
Geologic Age	Lower Cretaceous
Area Size, mi. ²	3,320 (Active)
Depth, ft.	7,000–12,000
Thickness, ft.	100–475
TOC, %	4–8
Thermal Maturity, R _o %	0.7–1.8
Porosity, %	4–10
Well Avg. IP, MMcfd	8.0 + Cond.
Well Avg. IP, BOPD (41.5 °API)	340–2,500 (41.5 °API)
	7.4 (Ind. est. 24)
Horizontal Lateral, Gas, ft.	5,000–5,300
Horizontal Lateral, Oil, ft.	6,000–7,000
TRR, Tcf	22
TRR, BBO	8.0
EUR/Well, Bcf	5.0
EUR/Well, MBO	600
Pressure Gradient, psi/ft.	0.5–0.75
Well Spacing, Ac	40–80
First Production	2006

■ Dry gas, wet gas, and oil windows
■ Overpressured and high BHT in Live Oak County

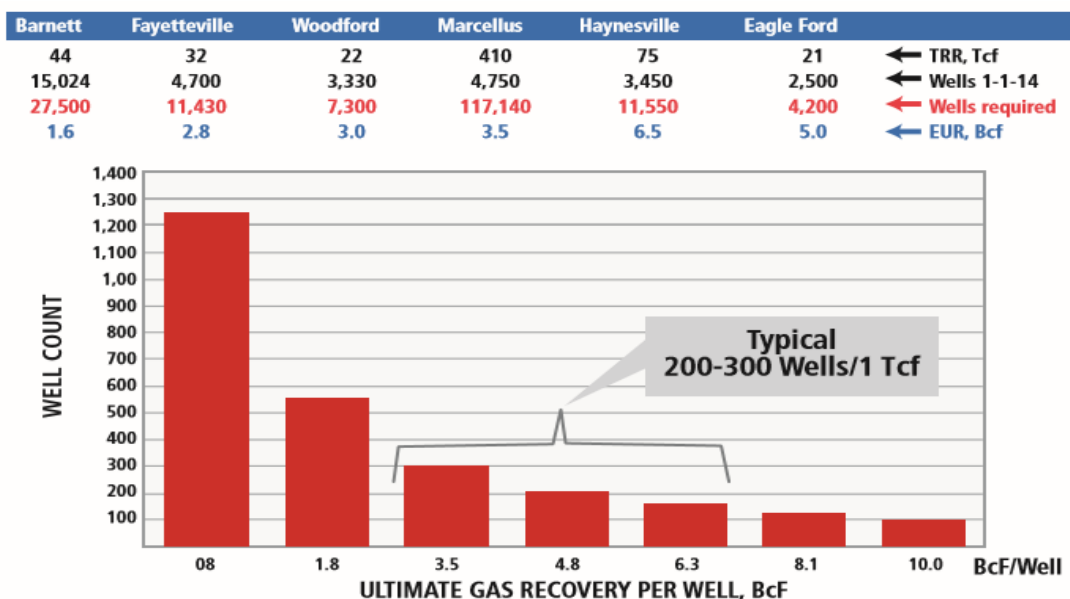
Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως



Εικόνα 3-21: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου από τον σχηματισμό EagleFord, αριθμός γεωτρήσεων και καταμέτρηση γεωτρύπανων (Drilling Information Database, 2014).

Συμπερασματικά, κάθε σχιστολιθικός σχηματισμός στις ΗΠΑ διαθέτει διακριτά χαρακτηριστικά όσον αφορά τη λιθολογία, τη σύσταση και τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα του. Με λίγες εξαιρέσεις, όπως οι σχηματισμοί Eagle Ford και Haynesville, οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί βρίσκονται στο ίδιο περίπου βάθος (6.500 έως 8.500 ft), έχουν πάχος που κυμαίνεται από 50 έως 500 ft), επιτυγχάνουν αθροιστική ημερήσια παραγωγή από 2,5 έως 3,5 MMcf/d και μέχρι σήμερα η συνολική παραγωγή από τον καθένα από αυτούς ανέρχεται σε 2,0 έως 3,5 Bcf. Ο μέσος όρος για το απαιτούμενο μήκος της οριζόντιας πλευρικής διάτρησης κυμαίνεται μεταξύ 3.000 και 5.000 ft για την παραγωγή φ.α.



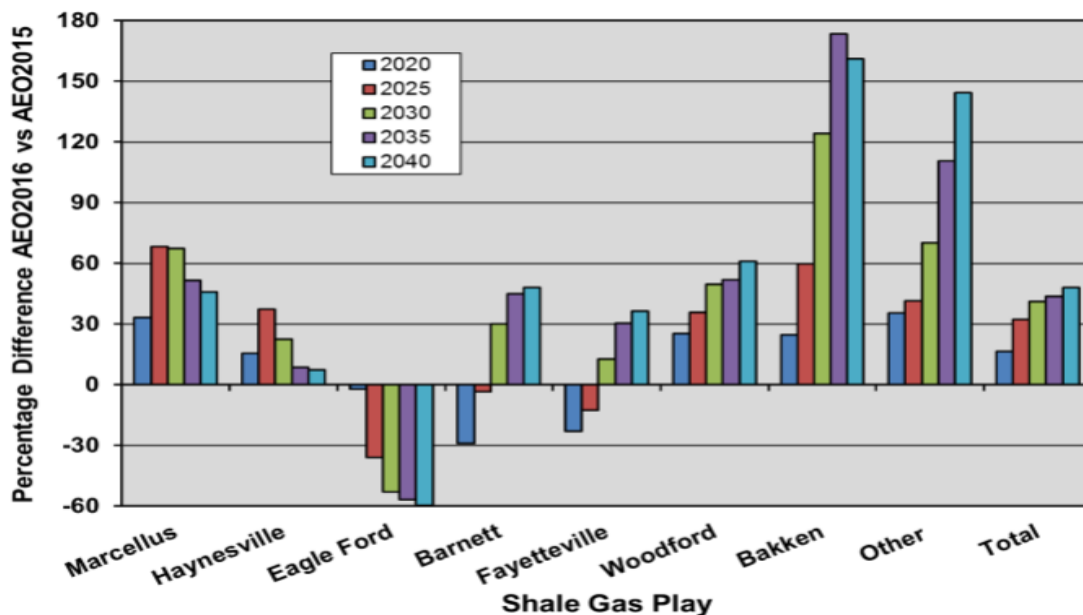
Εικόνα 3-22: Αριθμός υφιστάμενων γεωτρήσεων και αριθμός απαιτούμενων γεωτρήσεων για την πλήρη ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α. (Kennedy, Knecht, & Knecht, 2012).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Στην άνωθεν Εικόνα 3-22 απεικονίζεται ο αριθμός των υφιστάμενων γεωτρήσεων στους έξι μείζονες σχιστολιθικούς σχηματισμούς φ.α. στις Η.Π.Α. και ο συνολικός αριθμός γεωτρήσεων που απαιτούνται για την πλήρη ανάπτυξη των αντίστοιχων πεδίων και την παραγωγή του συνόλου των τεχνικώς ανακτήσιμων αποθεμάτων.

Η διαρκώς ογκούμενη παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α. ωθεί στην τακτική αναθεώρηση των εκτιμήσεων σχετικά με τη μελλοντική παραγωγή φ.α. από τους σχιστολιθικούς σχηματισμούς που προαναφέρθηκαν. Χαρακτηριστικά, στην εικόνα 3-23 απεικονίζεται η ποσοστιαία αναθεώρηση των εκτιμήσεων σχετικά με τη μελλοντική παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. στις Η.Π.Α. μεταξύ των ΑΕΟ 2015 και 2016, για τα έτη 2020, 2025, 2030, 2035 και 2040. Η εκτίμηση σχετικά με τη μελλοντική συνολική παραγωγή σχιστολιθικού αερίου έχει αναθεωρηθεί προς τα πάνω για όλα τα έτη και να διαμορφώνεται σε ποσοστό, το οποίο υπερβαίνει το 30% για το έτος 2025 και προσεγγίζει το 50% για το έτος 2040.

Ο σχηματισμός Marcellus, που βρίσκεται στην Πενσυλβανία και τη Δυτική Βιρτζίνια, είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός σχιστολιθικού αερίου με περίπου 16.280 (Bcf/day) δισεκατομμύρια κυβικά πόδια ανά ημέρα το 2015. Ο εν λόγω σχηματισμός επέκτεινε την παραγωγή κατά 10.3 Bcf /day σε μόλις τρία χρόνια, το οποίο συνεπάγεται μία αύξηση περίπου 162%.



Εικόνα 3-23: Ποσοστιαία αναθεώρηση των εκτιμήσεων σχετικά με τη μελλοντική παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. στις Η.Π.Α. μεταξύ των ΑΕΟ 2015 και 2016, για τα έτη 2020, 2025, 2030, 2035 και 2040 (Hughes, 2016).

3.2.2. Καναδάς

Ο Καναδάς διαθέτει αποθέματα και των 3 ειδών μη συμβατικού φ.α. και αποτέλεσε μία από τις πρώτες χώρες, πέραν των Η.Π.Α., η οποία ξεκίνησε την παραγωγή μη συμβατικού αερίου. Η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου εδώ ακολούθησε πιο αργή πορεία σε σχέση με τις Ηνωμένες Πολιτείες. Το 2014, η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου αντιπροσώπευε περίπου το 4% της συνολικής παραγωγής φ.α. στον Καναδά, ενώ το έγκλειστο αέριο αποτελούσε το 47% του παραγόμενου μη συμβατικού αερίου. Το Εθνικό Συμβούλιο Ενέργειας (National Energy Board) εκτιμάει ότι η παραγωγή έγκλειστου και σχιστολιθικού αερίου θα αντιπροσωπεύει το 2035 το 80% της συνολικής παραγωγής φ.α. στον Καναδά. Τα επί τόπου αρχικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου (risked gas in-place) στον Καναδά ανέρχονται στα 2.413 Tcf, εκ των οποίων τα 573 Tcf αποτελούν τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα (risked technically recoverable shale gas resource) (EIA, 2015) (Πίνακας 3-14). Τα παραπάνω αποθέματα κατατάσσουν το Καναδά στην πέμπτη θέση παγκοσμίως μετά την Κίνα, την Αργεντινή, την Αλγερία και τις Ηνωμένες Πολιτείες

Πίνακας 3-14: Αποθέματα σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου στον Καναδά (EIA/ARI, 2013).

Region	Basin / Formation	Risked Resource In-Place		Risked Technically Recoverable Resource	
		Oil/Condensate (Million bbl)	Natural Gas (Tcf)	Oil/Condensate (Million bbl)	Natural Gas (Tcf)
British Columbia / Northwest Territories	Horn River (Muskwa / Otter Park)	-	375.7	-	93.9
	Horn River (Eve / Klua)	-	154.2	-	38.5
	Cordova (Muskwa / Otter Park)	-	81.0	-	20.3
	Liard (Lower Besa River)	-	526.3	-	157.9
	Deep (Doig Phosphate)	-	100.7	-	25.2
	Sub-Total	-	1,237.8	-	335.8
Alberta	Alberta (Banff / Exshaw)	10,500	5.1	320	0.3
	E/W Shale (Duvernay)	66,800	482.6	4,010	113.0
	Deep Basin (Nordegg)	19,800	72.0	790	13.3
	N.W. Alberta (Muskwa)	42,400	141.7	2,120	31.1
	S. Alberta (Colorado)	-	285.6	-	42.8
	Sub-Total	139,500	987.1	7,240	200.5
Saskatchewan / Manitoba	Williston (Bakken)	22,500	16.0	1,600	2.2
Quebec	App. Fold Belt (Utica)	-	155.3	-	31.1
Nova Scotia	Windsor (Horton Bluff)	-	17.0	-	3.4
	Total	162,000	2,413.2	8,840	572.9

*Less than 0.5 Tcf

Οι λεκάνες που φέρουν σχιστολιθικό φ.α. περιλαμβάνουν τις : Horn River, Cordova Embayment και Liard που βρίσκονται στην περιοχή British Columbia και τις βορειοδυτικές περιοχές του δυτικού Καναδά, καθώς και τον σχιστόλιθο Doig Phosphat, ο οποίος βρίσκεται στην British Columbia και την Alberta. Στην Alberta βρίσκεται, επίσης, ένας μεγάλος αριθμός σχιστολιθικών σχηματισμών, όπως οι Banff/Exshaw, Duvernay, Nordegg Muskwa

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

και ο Colorado Group. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η λεκάνη Williston που φέρει τον σχιστόλιθο Bakken, στις περιοχές Saskatchewan και Manitoba, καθώς και οι σχιστόλιθοι Utica και HortonBluff, που βρίσκονται στο Quebec και τη NovaScotia, αντίστοιχα.

Η Εικόνα 3-24 απεικονίζει τις 5 πιο σημαντικές λεκάνες και σχηματισμούς σχιστολιθικού αερίου στον Καναδά: Horn River, Montney, και Colorado Group στον δυτικό Καναδά, και τους Utica και Horton Bluff στον ανατολικό Καναδά. Ο σχιστολιθικός σχηματισμός Duvernay βρίσκεται στη δυτική-κεντρική Αλμπέρτα (Canadian Society for Unconventional Gas, 2010).



Εικόνα 3-24: Χάρτης του Καναδά, που απεικονίζει τις πέντε πιο σημαντικές σχιστολιθικές Καναδά (NEB - Canada 2009).

Τα αρχικά επί τόπου αποθέματα στη Βρετανική Κολομβία - British Columbia και τις νοτιοδυτικές περιοχές εκτιμώνται σε 1238 Tcf και τα τεχνικώς ανακτήσιμα εκτιμώνται σε 336 Tcf (Πίνακας 3-15). Στην περιοχή της Alberta, τα αρχικά επί τόπου αποθέματα ανέρχονται σε 987 Tcf και τα τεχνικώς ανακτήσιμα εκτιμώνται σε 200 Tcf (Πίνακας 3-16).

Ο ανατολικός Καναδά περιλαμβάνει τέσσερεις σχιστολιθικούς σχηματισμούς που φέρουν φ.α.: οι Utica και Lorraine στην Appalachian Fold Belt του Quebec, ο σχηματισμός Horton Bluff στη λεκάνη Windsor και ο σχηματισμός Frederick brook τη λεκάνη Maritimes στο New 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 επί τόπου αρχικών αποθεμάτων με τα τεχνικά ανακτήσιμα να φτάνουν τα 34 Tcf (EIA/ARI, 2013).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

Πίνακας 3-15: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στη British Columbia και στις Βορειοδυτικές περιοχές (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/Kluva	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
	Risked GIP (Tcf)		375.7	154.2	81.0	526.3	100.7
	Risked Recoverable (Tcf)		93.9	38.5	20.3	157.9	25.2

Πίνακας 3-16: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στην περιοχή της Alberta (EIA/ARI, 2013).

Basic Data	Basin/Gross Area		Alberta Basin (28,700 mi ²)				East and West Shale Basin (50,500 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/Exshaw				Duvernay			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				
	Risked GIP (Tcf)		5.1	109.1	244.1	129.5	16.2	39.2	16.6	29.0	112.7	285.6				
	Risked Recoverable (Tcf)		0.3	13.1	61.0	38.8	1.3	7.8	4.1	2.9	28.2	42.8				

Πίνακας 3-17: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στον Ανατολικό Καναδά (EIA/ARI, 2013).

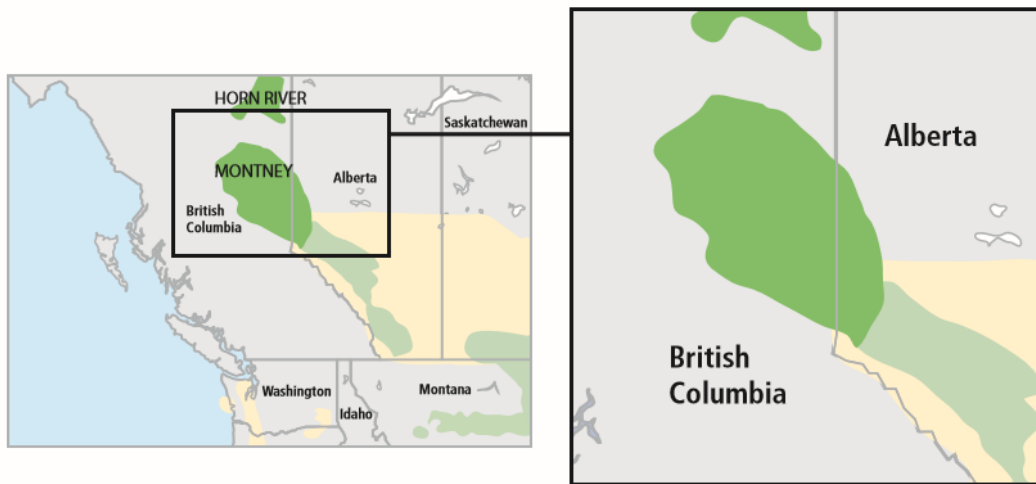
Basic Data	Basin/Gross Area		Appalachian Fold Belt (3,500 mi ²)		Windsor (650 mi ²)	
	Shale Formation		Utica		Horton Bluff	
	Geologic Age		Ordovician		Mississippian	
	Depositional Environment		Marine		Marine	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		2,900		520	
	Thickness (ft)	Organically Rich	1,000		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	
	Risked GIP (Tcf)		155.3		17.0	
	Risked Recoverable (Tcf)		31.1		3.4	

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικά μόνο οι «ενεργοί» σχιστολιθικοί σχηματισμοί (που τελούν υπό παραγωγή): Horn River, Montney, και Duvernay.

3.2.2.1. Σχηματισμός Horn River

Ο σχιστόλιθος Horn River βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της Βρετανική επαρχίας Κολούμπια στον Καναδά (Εικόνα 3-25). Η απόσταση της περιοχής στην περιορισμένη υποδομή και υψηλότερα κόστη γεωτρήσεων από 16 έως 22 εκατομμύρια ανά φρέαρ προκάλεσε την βραδύτερη ανάπτυξη των канаδικών σχιστολιθικών σχηματισμών (EIA, 2015).



Εικόνα 3-25: Χάρτης του σχιστολιθικού σχηματισμού Horn River (Usman & Nathan, 2016).

Ο σχιστόλιθος Horn River καταλαμβάνει έκταση 5000 τετραγωνικών μιλίων, το βάθος του κυμαίνεται από 6.500 έως 9.000 ft και το πάχος του από 125 έως 450 ft (Πίνακας 3-18). Τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα ανέρχονται στα 165 Tcf, εκ των οποίων τα εμπορεύσιμα (marketable) να είναι 100 Tcf. Οι εκτιμήσεις αυτές καθιστούν τον σχιστόλιθο Horn River το μεγαλύτερο σχιστολιθικό σχηματισμό φ.α. στον Καναδά, ενώ σε έκταση υπερβαίνει τους σχιστολιθικούς σχηματισμούς στις Η.Π.Α. Η παραγωγή ξεκίνησε το 2005. Παρουσιάζει υψηλούς ρυθμούς ημερήσιας παραγωγής που κυμαίνονται από 10 έως 30 MMcf/d, ενώ η παραγωγή ανά γεώτρηση κυμαίνεται μεταξύ 15 και 35 Bcf. Οι τιμές αυτές υπερβαίνουν τις αντίστοιχες στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η

Πίνακας 3-18: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικού σχηματισμού Horn River

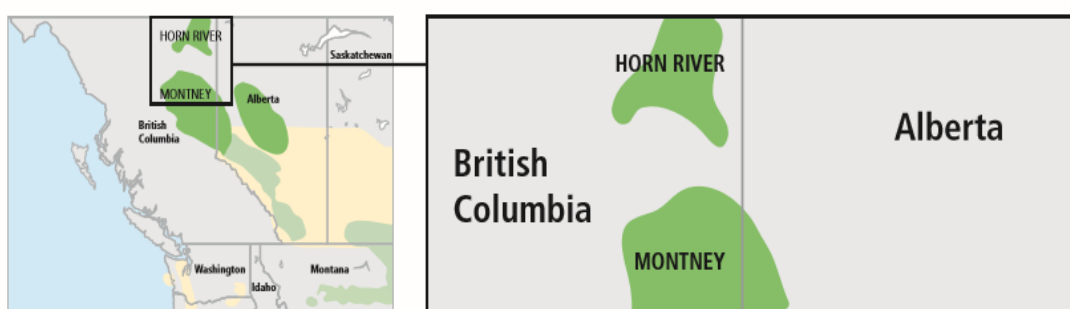
Horn River Shale	
Geologic Age	Middle Devonian
Area Size, mi. ²	5,000
Depth, ft.	6,500–9,000
Thickness, ft.	125–450
TOC, %	1–6
Thermal Maturity, R _o %	2.2–2.8
Porosity, %	4–8
Well Avg. IP, MMcfd	10–30 (up to 12% CO ₂ , Tr. H ₂ S)
Horizontal Lateral, ft.	5,000–6,550
TRR, Tcf	165 (100 marketable)
EUR/Well, Bcf	15–35
Pressure Gradient, psi/ft.	0.55–0.75 (local pressure differences)
Well Spacing, Ac	
First Production	2005
<ul style="list-style-type: none"> ■ Largest shale gas field in Canada; limited infrastructure ■ 55% silica content, brittle and hydraulic fracture prone ■ High BHT (300–350°F at 8,500 ft.) 	

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

συνολική παραγωγή φ.α. από τον σχηματισμό HornRiver ανέρχεται σε 360 MMcf/d και προέρχεται από 225 γεωτρήσεις παραγωγής και 135 ενεργές εξέδρες (active rigs) (μέσα του 2014) (Usman & Nathan, 2016)

3.2.2.2. Σχηματισμός Montney

Ο σχιστολιθικός σχηματισμός Montney βρίσκεται νότια από τον HornRiver, στις καναδικές επαρχίες της Βρετανικής Κολομβίας και κατά ένα μέρος της Αλμπέρτα (Εικόνα 3-26). Ο ταμιευτήρας του σχηματισμού Montney περιλαμβάνει και έγκλειστο και σχιστολιθικό φ.α. Από τον σχηματισμό αυτό έχει παραχθεί συμβατικό φ.α. από περιοχές του ταμιευτήρα με βελτιωμένες ιδιότητες.



Εικόνα 3-26: Χάρτης του σχιστόλιθου Montney στον Καναδά

Καταλαμβάνει έκταση 1.150 τετραγωνικών μιλίων, το βάθος του κυμαίνεται από 4.900 έως 11.500 ft και το πάχος του από 150 έως

1.000 ft, ενώ παράγει από ξηρό αέριο μέχρι και πλούσιο υγρό αέριο (Πίνακας 3-19). Η παραγωγή ξεκίνησε πριν από το 2000. Τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα του σχιστολιθικού και του έγκλειστου αερίου ανέρχονται σε 49 Tcf και 230 Tcf, αντίστοιχα. Μέχρι στιγμής, έχει πραγματοποιηθεί περιορισμένη παραγωγή από τον σχηματισμό, καθώς αναμένεται η κατασκευή εγκαταστάσεων πρόσθετης επεξεργασίας (συμπυκνώματα διαχωρισμού). Από τα μέσα του 2014, η συνολική παραγωγή του σχηματισμού

Πίνακας 3-19: Χαρακτηριστικά σχιστόλιθου Montney

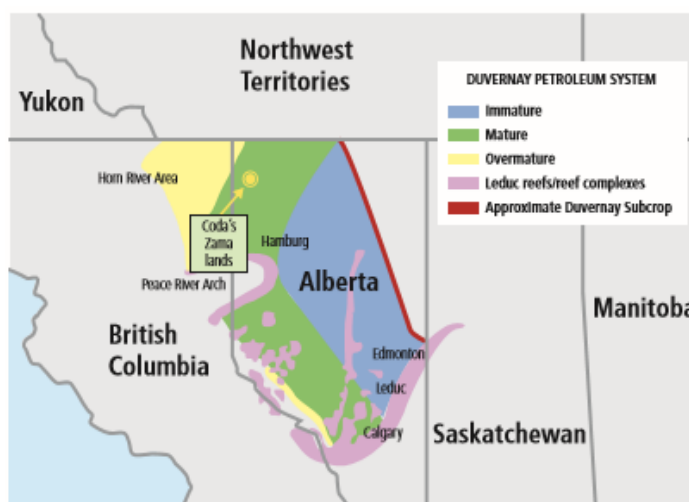
Montney Shale	
Geologic Age	Early Triassic
Area Size, mi. ²	1,150
Depth, ft.	4,900–11,500
Thickness, ft.	150–1,000
TOC, %	0.4–4.0
Thermal Maturity, R _o %	0.8–2.5
Porosity, %	2–9
Well Avg. IP, MMcf/d, BCPD	3.0–4.0 and 575
Horizontal Lateral, ft.	4,700–5,700
Shale TRR, Tcf and BB Cond	49 and 1.1
Tight Gas TRR, Tcf	230
EUR/Well, Bcf	4.0–5.0
Pressure Gradient, psi/ft.	0.48
Well Spacing, Ac	
First Production	Before 2000
<ul style="list-style-type: none"> ■ Hybrid shale gas and tight gas reservoir ■ Complex lithology across play ■ To 60% silica plus to 20% calcite, brittle and hydraulic fracture prone 	

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Montney ανερχόταν σε 2,4 Bcf/d από 2.650 γεωτρήσεις παραγωγής.

3.2.2.3. Σχηματισμός Duvernay

Ο σχιστόλιθος Duvernay βρίσκεται στην ίδια περιοχή με τους σχιστόλιθους Horn River και Montney, αλλά εντοπίζεται κυρίως στην επαρχία Αλμπέρτα, που βρίσκεται ανατολικά της British Columbia, (Εικόνα 3-27). Καταλαμβάνει έκταση 3.900 τετραγωνικών μιλίων, το βάθος του κυμαίνεται από 8.200 έως 13.100 ft και το πάχος του από 65 έως 230 ft (Πίνακας 3-20). Καθώς ο σχηματισμός παρουσιάζει πολύ υψηλή πίεση (υπερπίεση) και βρίσκεται σε βάθος άνω των 13.000 ft (βαθύτερα από τους σχηματισμούς Horn River και Montney), το κόστος των γεωτρήσεων για την ανάπτυξη του είναι πολύ υψηλό. Ο σχιστόλιθος Duvernay είναι συγκρίσιμος με τον σχηματισμό Eagle Ford στις ΗΠΑ, λόγω



Εικόνα 3-27: Χάρτης σχιστόλιθου Duvernay

παρόμοιων ιδιοτήτων ταμιευτήρα που παρουσιάζει, αλλά και του γεγονότος ότι περιέχει και τα τρία «παράθυρα» υδρογονανθράκων: ξηρού αερίου, υγρού αερίου, και πετρελαίου.

Πίνακας 3-20: Χαρακτηριστικά σχιστόλιθου Duvernay

Duvernay Shale	
Geologic Age	Upper Devonian
Area Size, mi. ²	3,900
Depth, ft.	8,200–13,100
Thickness, ft.	65–230
TOC, %	1–20
Thermal Maturity, R _o %	0.6–2.9
Porosity, %	3–8
Well Avg. IP, MMcfd	3.0–8.5 + Condensate
Well Avg. Cond Ratio, bbl/MMcf	60–700
Horizontal Lateral, ft.	6,000–7,000
TRR, Tcf, and BBO	440 and 62
EUR/Well, Bcf	
Pressure Gradient, psi/ft.	0.72–0.96
First Production	2012
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Like Eagle Ford has dry gas, wet gas, and oil windows. ■ Brittle lithology, very fracable. ■ Emerging – Only 120 wells drilled to date.

Παρά το γεγονός ότι βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, η αναμενόμενη συνολική παραγωγή των αποθεμάτων του (τα οποία εκτιμώνται να είναι της τάξης των 440 Tcf φ.α. και 6,2 bbl πετρελαίου) είναι υψηλή σε σχέση με τους υπόλοιπους σχιστολιθικούς σχηματισμούς στον

Καναδά και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Από την αρχή του 2014, η ημερήσια παραγωγή έφτασε τα 254 MMcf/d, από 120 γεωτρήσεις παραγωγής και 91 ενεργές εξέδρες (running rigs).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

3.2.3. Μεξικό

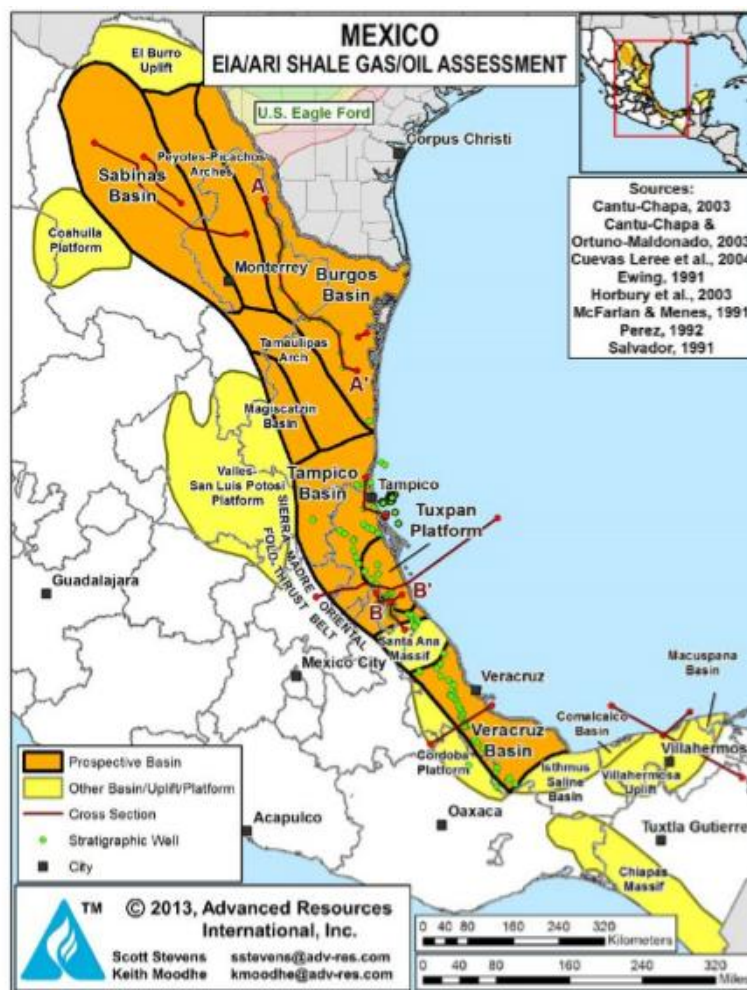
Το Μεξικό διαθέτει τεράστια αποθέματα σχιστολιθικού φ.α., τα οποία είναι κατανεμημένα κατά μήκος της παράκτιας περιοχής του Κόλπου του Μεξικού (Gulf of Mexico), ενώ διαθέτει εξαιρετικές δυνατότητες για την ανάπτυξη και την περαιτέρω εκμετάλλευσή των (Εικόνα 3-28).

Τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου εκτιμώνται σε 545 Tcf, τα οποία τοποθετούν το Μεξικό στην έκτη θέση παγκοσμίως μετά την Κίνα, την Αργεντινή, την Αλγερία, τις Η.Π.Α. και τον Καναδά (Πίνακας 3-18).

Ο καλύτερα αποτυπωμένος σχιστολιθικός σχηματισμός είναι ο Eagle Ford, ο οποίος βρίσκεται στη λεκάνη Burgos και εκτείνεται νότια από το Τέξας μέχρι το βόρειο Μεξικό, ενώ εκτιμάται ότι περιέχει 343 Tcf τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα (EIA, 2015).

Η κυβέρνηση του Μεξικού παρουσιάζει θετική στάση ως προς την αξιοποίηση και ανάπτυξη των πόρων σχιστολιθικού αερίου, με στόχο την προώθηση της

χώρας στον τομέα του μη συμβατικού φ.α. και πετρελαίου. Στην Εθνική Ενεργειακή Στρατηγική (National Energy Strategy) για τα έτη 2012 – 2026, του Υπουργείου Ενέργειας της χώρας περιλαμβάνονται δύο σενάρια για την αξιοποίηση του σχιστολιθικού φ.α.: Το βασικό σενάριο προβλέπει ετήσια παραγωγή η οποία ξεκινάει με 70 Bcf (200 Mcf/day), από το κοίτασμα EagleFord, το 2016, και φτάνει τα 494 Bcf (1343 Mcf/day) το έτος 2026, ενώ



Εικόνα 3-28: Χερσαίες λεκάνες σχιστολιθικού φυσικού αερίου και πετρελαίου στο Μεξικό (EIA, 2015).

το «σενάριο στρατηγικής» (*strategy scenario*) θεωρεί πιθανή την αξιοποίηση του κοιτάσματος La Casita, χάρη στο οποίο η ετήσια παραγωγή σχιστολιθικού αερίου θα ανέλθει σε 1.200 Tcf (3279 Mcf/day), το 2026.

Σύμφωνα με αυτά τα σενάρια, η κρατική εταιρεία πετρελαίου Petroleos Mexicanos (Pemex) είχε ξεκινήσει ένα τριετές πρόγραμμα αναζήτησης σχιστολιθικού αερίου στις βόρειες περιοχές της χώρας, όπου εντοπίζονται οι επεκτάσεις του σχηματισμού EagleFord. Η πρώτη γεώτρηση (Emergente 1) ολοκληρώθηκε στη λεκάνη Burgos το Φεβρουάριο του 2011 και παρήγαγε 3 Mcf/day. Το πρόγραμμα αναζήτησης σχιστολιθικού αερίου υπήρξε δαπανηρό, καθώς απαιτήθηκαν 20 με 25 εκατομμύρια δολάρια ανά γεώτρηση, οι οποίες έδωσαν μέτριους αρχικούς ρυθμούς παραγωγής φ.α., της τάξης των 3 Mcf/d και ανά γεώτρηση, με απότομες πτώσεις. Παρά το απογοητευτικό ξεκίνημα, η χώρα αναμένεται να εισέλθει στην παγκόσμια αγορά του σχιστολιθικού αερίου.

Παρά τα μεγάλα αποθέματα του Μεξικού σε σχιστολιθικό αέριο, στη λεκάνη Burgos και στη λεκάνη Tampico-Misantla, η οποία βρίσκεται νοτιότερα στον Κόλπο του Μεξικού, παρουσιάζονται δύο πολύ σημαντικά θέματα: η έλλειψη υποδομών και η ασφάλεια. Υπάρχει έντονη ανησυχία για το αν ο όγκος και η ποιότητα των υποδομών μπορούν να διαχειριστούν επαρκώς τα επίπεδα του δυναμικού παραγωγής. Γι' αυτό το λόγο τόσο οι δημόσιες όσο και οι ιδιωτικές επενδύσεις στον τομέα των υποδομών έχουν καθοριστική σημασία για τη βελτίωση της βιωσιμότητας της βιομηχανίας του σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου. Αναφορικά με το θέμα της ασφάλειας, η κυβέρνηση του Μεξικού θα πρέπει να συνεχίσει την ενίσχυση των προσπαθειών της κατά του οργανωμένου εγκλήματος στην περιοχή για να βοηθήσει στην προσέλκυση επενδύσεων. Με την προοπτική της ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου σε μεγάλη κλίμακα, η κυβέρνηση του Μεξικού θα πρέπει να αντιμετωπίσει κατά μέτωπο τις προκλήσεις σχετικά με την ασφάλεια σε αυτές τις περιοχές (Oil&GasJournal, 2015).

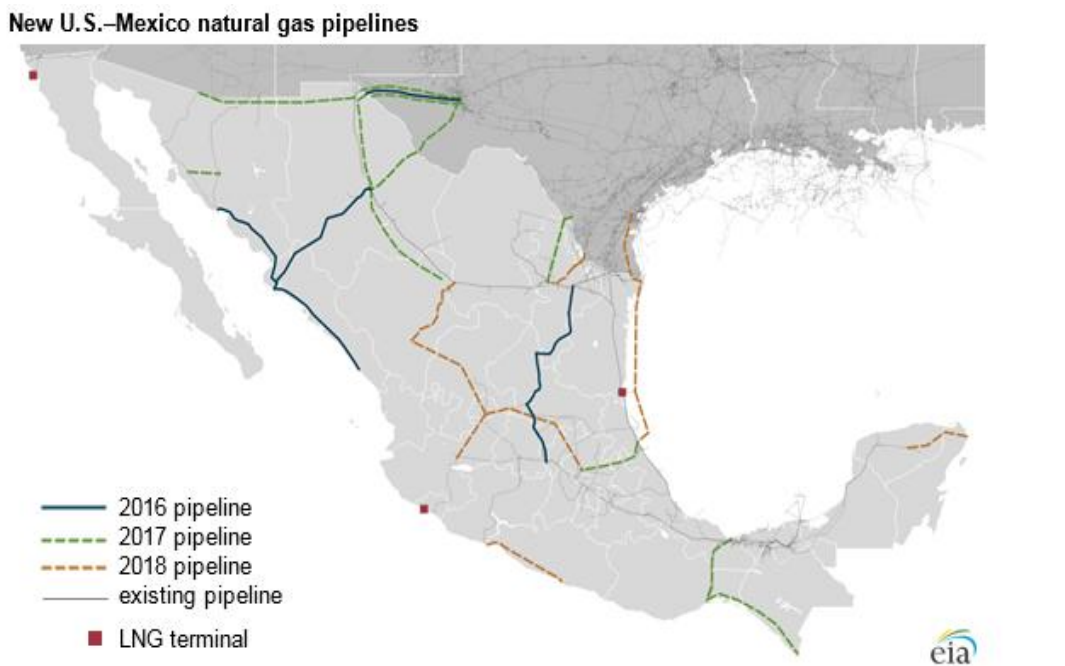
Επίσης, άλλη μια σοβαρή πρόκληση που καλείται να αντιμετωπίσει η κυβέρνηση του Μεξικού, είναι η επαρκής πρόσβαση σε νερό για την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η Coahuila, όπου βρίσκεται μεγάλο μέρος του σχηματισμού Eagle Ford, θεωρείται ως μία από τις ξηρότερες πολιτείες του Μεξικού, με βροχοπτώσεις λιγότερες από το μισό του εθνικού μέσου όρου (IEA, 2012).

Λόγω του ότι η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου στο Μεξικό δεν προχώρησε τόσο γρήγορα όσο προβλεπόταν, η κυβέρνηση στράφηκε σε ξένους επενδυτές για την αξιοποίηση

των χερσαίων και των υπεράκτιων λεκανών, χρησιμοποιώντας ξένο κεφάλαιο και τεχνογνωσία για να συμβάλει στην γρηγορότερη ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου. Η διάθεση των λεκανών του Μεξικού σε ξένους επενδυτές για πρώτη φορά σε 75 χρόνια, αποτελεί βασικό στοιχείο για τις εν εξελίξει μεταρρυθμίσεις στη χώρα (Oil&GasJournal, 2015).

Σύμφωνα με μία πρόσφατη μελέτη από το «*University of Texas at San Antonio Institute of Economic Development*» σχετικά με τις προοπτικές ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου στο Μεξικό, το μεγαλύτερο μέρος των ανακτήσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου βρίσκεται στην μη αναπτυγμένη περιοχή του Μεξικού. Επιπροσθέτως, λόγω της εγγύτητάς του στο σχιστολιθικό σχηματισμό που βρίσκεται στον Νότιο και Δυτικό Τέξας, το Μεξικό παρουσιάζει προνομιακή θέση ώστε να επωφεληθεί από την συμβατική τεχνική εξόρυξης φ.α. (Shale Oil and Gas Business Magazine, 2015).

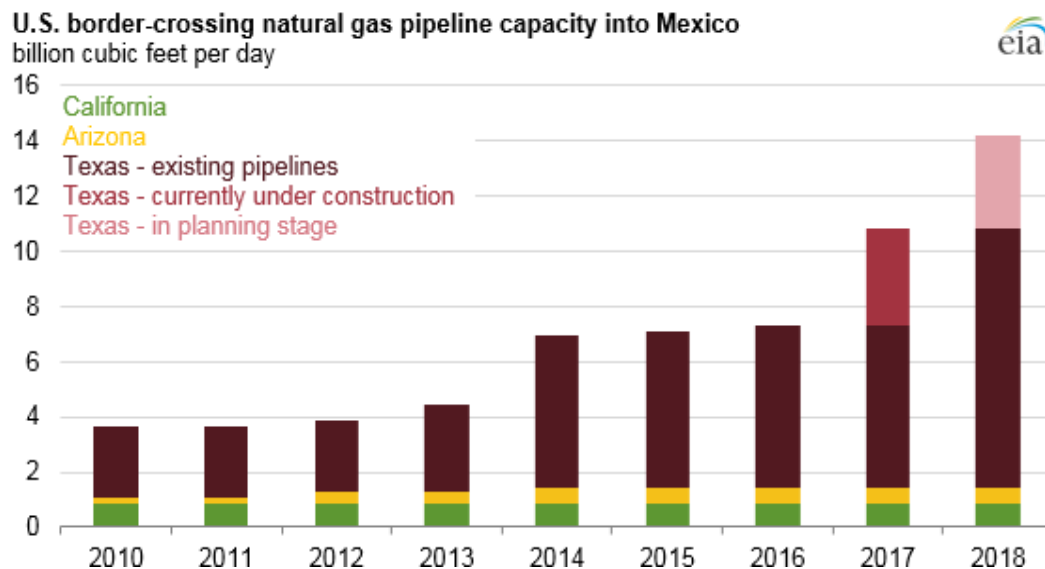
Το Μεξικό εισάγει μεγάλες ποσότητες διυλισμένων προϊόντων και φ.α. από τις Η.Π.Α. Για παράδειγμα, το 2013 και το 2014, το Μεξικό αύξησε την εισαγωγή φ.α. από τις ΗΠΑ σε πάνω από 650 Bcf ετησίως, συγκριτικά με τα 333 Bcf φ.α. που εισήγαγε από τη χώρα αυτή το 2010. Σήμερα, το Μεξικό βρίσκεται στο στάδιο επέκτασης της χωρητικότητας του συστήματος αγωγών μεταφοράς φ.α., μεταξύ των συνόρων ΗΠΑ - Μεξικού, έτσι ώστε το σχιστολιθικό αέριο να εισάγεται σε περισσότερες περιοχές του Μεξικού (Εικόνα 3-29). Το σύστημα τροφοδοσίας έχει επεκταθεί ταχύτατα τα τελευταία χρόνια και σήμερα ανέρχεται σε 7,3 Bcf/d. Η υπάρχουσα διασυνοριακή χωρητικότητα τροφοδοτεί κυρίως τις βορειοανατολικές και τις κεντρικές περιοχές του Μεξικού. Το νέο δυναμικό προβλέπεται να ολοκληρωθεί στα επόμενα χρόνια και να βοηθήσει τον εφοδιασμό των κεντρικών και βορειοδυτικών περιοχών του Μεξικού. Η επέκταση του διασυνοριακού δικτύου αγωγών των ΗΠΑ στο Μεξικό οφείλεται κυρίως στην ισχυρή αύξηση της ζήτησης φ.α. στο Μεξικό στον τομέα της ενέργειας, στη μείωση της εγχώριας παραγωγής και στις χαμηλότερες τιμές φ.α. από τους αγωγούς των ΗΠΑ σε σχέση με τις πιο ακριβές εισαγωγές υγροποιημένου φ.α. (LNG).



Εικόνα 3-29: Νέοι δίοδοι διέλευσης αγωγών φυσικού αερίου μεταξύ ΗΠΑ-Μεξικού (EIA, 2016).

Μέσα στα επόμενα τρία χρόνια, η χωρητικότητα του δικτύου αγωγών των ΗΠΑ στο Μεξικό σχεδόν θα διπλασιαστεί (Εικόνα 3-30). Μέχρι το τέλος του 2017, τέσσερα έργα αγωγών που βρίσκονται υπό κατασκευή [Roadrunner (PhaseII), ComancheTrail, PresidioCrossing (αποκαλείται επίσης και Trans-Pecos), και NuevaEra], χωρητικότητας 3,5 Bcf/d, θα προμηθεύουν με φ.α. τις πολιτείες Chihuahua, NuevoLeon, Sonora και Sinaloa. Μέχρι το τέλος του 2018 δύο επιπλέον αγωγοί (KM Mier-Monterrey και Neuces-Brownsville), συνολικής χωρητικότητας 3,3 Bcf/d, προβλέπεται να ξεκινήσουν την εξαγωγή φ.α. προς τις βορειο-ανατολικές και κεντρικές περιοχές του Μεξικού, κυρίως από τον σχηματισμό Eagle Ford στο νότιο Τέξας.

Η επέκταση της εξαγωγικής δυναμικότητας του δικτύου αγωγών των ΗΠΑ στο Μεξικό έχει συνδυαστεί με την επέκταση του εγχώριου δικτύου αγωγών του Μεξικού, η οποία περιλαμβάνει 12 επιπλέον αγωγούς με συνολική χωρητικότητα των 9,7 Bcf/d και η οποία αυτή τη στιγμή βρίσκεται εν εξελίξει. Αυτοί οι αγωγοί αποτελούν μέρος του πενταετούς σχεδίου ενέργειας (SENER) του αρμόδιου υπουργείου του Μεξικού για την επέκταση της υποδομής αγωγών φ.α. της χώρας.

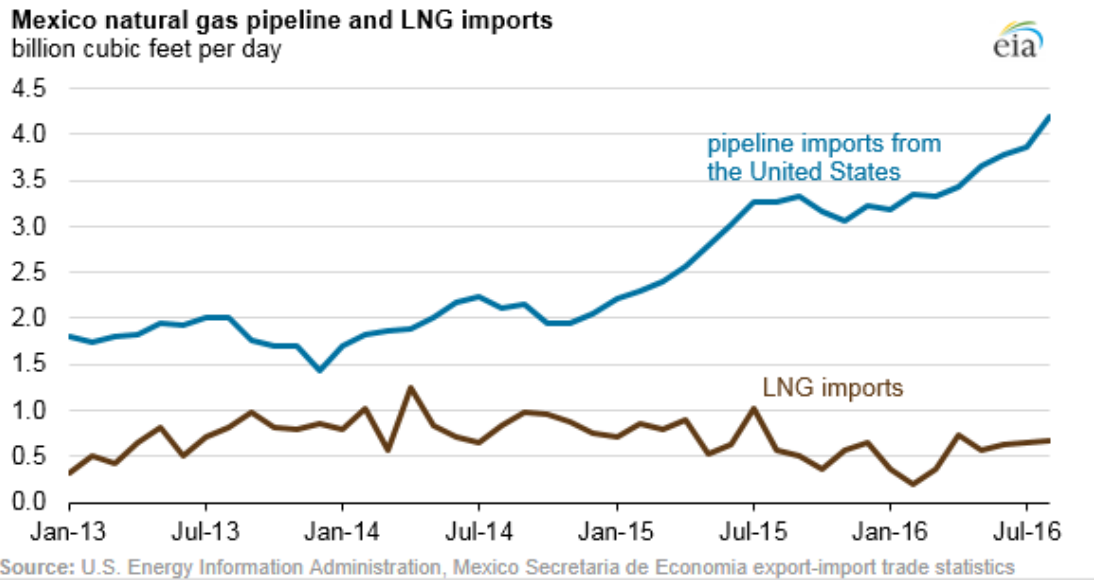


Εικόνα 3-30: Δίκτυο αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου από τις Η.Π.Α. στο Μεξικό την περίοδο 2010-2018 (EIA, 2016).

Οι εξαγωγές μέσω δικτύου αγωγών των Η.Π.Α. στο Μεξικό αυξήθηκαν σημαντικά τα τελευταία χρόνια και αρχίζουν να εξαλείφουν σταδιακά τις εισαγωγές LNG του Μεξικού. Η ολοκλήρωση της πρώτης φάσης (Phase I) του αγωγού Los Ramones (2,1 Bcf / d δυναμικότητας), που τέθηκε σε λειτουργία το 2014, έχει ήδη εκτοπίσει τις εισαγωγές LNG στο τερματικό Altamira με φ.α. από τον σχηματισμό Eagle Ford. Οι εισαγωγές LNG στο Altamira ήταν κατά μέσο όρο 0,1 Bcf / d έως τον Οκτώβριο του τρέχοντος έτους, οι οποίες ήταν χαμηλότερες περισσότερο από 50% σε σχέση με το 2015.

Η ολοκλήρωση της Φάσης II (Phase II South) (1,4 Bcf / d) του αγωγού Los Ramones αναμένεται να εκτοπίσει τις εισαγωγές LNG στο τερματικό Manzanillo στην κεντρική περιοχή του Μεξικού, συμπεριλαμβανομένης της πόλης του Μεξικού. Οι εισαγωγές LNG στο Manzanillo ήταν κατά μέσο όρο 0,5 Bcf / d έως τον Οκτώβριο του 2016. Η κεντρική περιοχή αντιμετωπίζει ελλείψεις φ.α. και έχει την υποχρέωση να αγοράσει επιπλέον LNG για να καλύψει τη διαφορά. Μόλις ξεκινήσει η λειτουργία της Phase II South του αγωγού Los Ramones και ανέλθει στην πλήρη δυναμικότητα του, αναμένεται ότι ολόενα και περισσότερο σχιστολιθικό αέριο των Η.Π.Α. θα εκτοπίσει τις εισαγωγές LNG στο τερματικό σταθμό Manzanillo (Εικόνα 3-31) (EIA, 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως



Εικόνα 3-31: Δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου και εισαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου στο Μεξικό (EIA, 2016)

Πίνακας3-21: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών ταμιεντήρων και εκτιμώμενα αποθέματα στοΜεξικό (EIA, 2015).

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	800
		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	446.4	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

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

3.3. Νότια Αμερική

3.3.1. Αργεντινή

Η Αργεντινή διαθέτει πολύ μεγάλο δυναμικό αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου, ίσως και το μεγαλύτερο εκτός Βόρειας Αμερικής. Τα δυνητικά της αποθέματα τοποθετούν την Αργεντινή στη δεύτερη θέση παγκοσμίως, μετά την Κίνα. Τα αρχικά επί τόπου αποθέματα της εκτιμώνται σε 802 Tcf. Τα αποθέματά της κατανέμονται σε τέσσερις ιζηματογενείς λεκάνες (Εικόνα 3-32) : τη λεκάνη Neuquén, τη λεκάνη San Jorge, τη λεκάνη Austral-Magallanes και τη λεκάνη



Εικόνα 3-32: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Αργεντινή (EIA, 2013).

Parana-Chaco. Τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα της Αργεντινής εκτιμώνται σε 3.244 Tcf (Πίνακας 3-22) (EIA, 2015).

Πίνακας 3-22: Χαρακτηριστικά σχιστολιθικών ταμειωτήρων φυσικού αερίου στην Αργεντινή (EIA/ARI, 2013).

Basic Data	Basin/Gross Area		Neuquen (66,900 mi ²)					
	Shale Formation		Los Molles			Vaca Muerta		
	Geologic Age		M. Jurassic			U. Jurassic - L. Cretaceous		
	Depositional Environment		Marine					
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		2,750	2,380	8,140	4,840	3,270	3,550
	Thickness (ft)	Organically Rich	800	800	800	500	500	500
		Net	300	300	300	325	325	325
	Depth (ft)	Interval	6,500 - 9,500	9,500 - 13,000	13,000 - 16,400	3,000 - 9,000	4,500 - 9,000	5,500 - 10,000
Average		8,000	11,500	14,500	5,000	6,500	8,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Highly Overpress.	Highly Overpress.	Highly Overpress.	Highly Overpress.	Highly Overpress.	Highly Overpress.
	Average TOC (wt. %)		2.0%	2.0%	2.0%	5.0%	5.0%	5.0%
	Thermal Maturity (% Ro)		0.85%	1.15%	2.20%	0.85%	1.15%	1.50%
	Clay Content		Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium
Resource	Gas Phase		Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		49.3	118.0	190.1	66.1	185.9	302.9
	Risked GIP (Tcf)		67.8	140.4	773.8	192.0	364.8	645.1
	Risked Recoverable (Tcf)		8.1	35.1	232.1	23.0	91.2	193.5

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

Basic Data	Basin/Gross Area		San Jorge (46,000 mi ²)			
	Shale Formation		Aguada Bandera		Pozo D-129	
	Geologic Age		U. Jurassic - L. Cretaceous		L. Cretaceous	
	Depositional Environment		Lacustrine		Lacustrine	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		8,380	920	540	4,120
	Thickness (ft)	Organically Rich	1,600	1,200	1,200	1,200
		Net	400	420	420	420
	Depth (ft)	Interval	6,500 - 16,000	6,600 - 8,000	8,000 - 10,000	10,000 - 16,400
Average		13,000	7,300	9,000	12,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Normal	Normal	Normal	Normal
	Average TOC (wt. %)		2.2%	2.0%	2.0%	2.0%
	Thermal Maturity (% Ro)		3.00%	0.85%	1.15%	2.00%
	Clay Content		Med./High	Med./High	Med./High	Med./High
Resource	Gas Phase		Dry Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		151.7	41.2	103.4	163.3
	Risked GIP (Tcf)		254.2	9.1	13.4	161.5
	Risked Recoverable (Tcf)		50.8	0.5	2.0	32.3

Basic Data	Basin/Gross Area		Austral-Magallanes (65,000 mi ²)			Parana (747,000 mi ²)	
	Shale Formation		L. Inoceramus-Magnas Verdes			Ponta Grossa	
	Geologic Age		L. Cretaceous			Devonian	
	Depositional Environment		Marine			Marine	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		4,620	4,600	4,310	270	2,230
	Thickness (ft)	Organically Rich	800	800	800	400	400
		Net	400	400	400	200	200
	Depth (ft)	Interval	6,600 - 11,000	9,000 - 14,500	11,500 - 16,400	9,000 - 10,000	10,000 - 11,500
Average		8,000	11,500	13,500	9,500	10,500	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Slightly Overpress.	Slightly Overpress.	Slightly Overpress.	Normal	Normal
	Average TOC (wt. %)		3.5%	3.5%	3.5%	2.0%	2.0%
	Thermal Maturity (% Ro)		0.85%	1.15%	1.60%	1.15%	1.40%
	Clay Content		Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium
Resource	Gas Phase		Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Wet Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		32.5	113.8	155.9	34.9	56.9
	Risked GIP (Tcf)		67.5	235.6	302.4	1.1	15.2
	Risked Recoverable (Tcf)		6.8	47.1	75.6	0.2	3.0

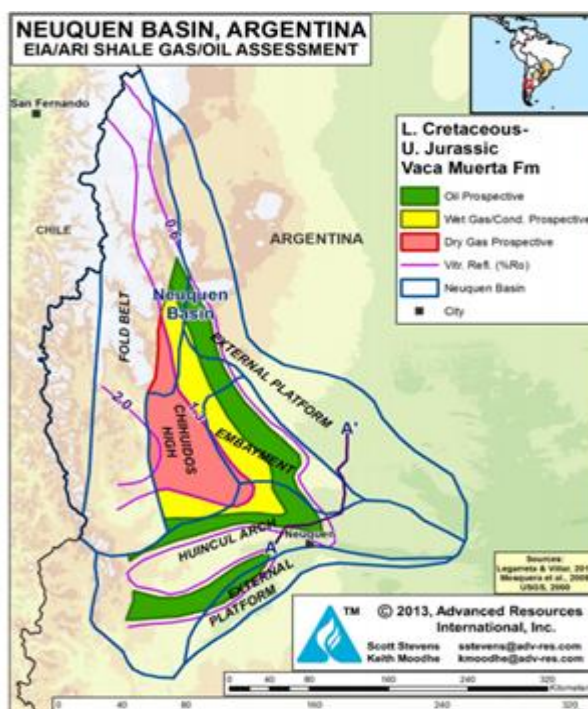
Η έρευνα για σχιστολιθικό αέριο και οι πρώτες γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν στη λεκάνη Neuquen από την κρατική εταιρεία ενέργειας της Αργεντινής, YPF (Yacimientos Petrolíferos Fiscales), και άλλες εταιρείες όπως οι Apache, EOG, ExxonMobil, TOTAL. Σε αντίθεση με την λεκάνη Neuquen, οι υπόλοιπες τρεις λεκάνες δεν παρουσιάζουν κάποια δραστηριότητα αξιοποίησης (δεν έχουν γίνει γεωτρήσεις).

Παρά τον μεγάλο όγκο των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου, η ξηρή παραγωγή φ.α. της Αργεντινής σημείωσε πτωτική τάση από το 2006 έως το 2014 και η χώρα έχει μετατοπιστεί από καθαρό εξαγωγέα φ.α. σε καθαρό εισαγωγέα. Το 2015, η παραγωγή φ.α. αυξήθηκε για πρώτη φορά από το 2006, καθώς οι συνεχιζόμενες προσπάθειες αύξησης της παραγωγής από τις περιοχές σχιστολιθικού φ.α. στην Αργεντινή αποσκοπούσαν στη μείωση των εισαγωγών φ.α..

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Μόλις ένας από τους μεγαλύτερους εξαγωγείς φ.α. στη Νότια Αμερική, η Αργεντινή αποτελούσε καθαρό εισαγωγέα φ.α. έως το 2008. Οι εισαγωγές, οι οποίες αντιπροσώπευαν το 23% της κατανάλωσης φ.α. στην Αργεντινή το 2015, προήλθαν από αγωγούς από χώρες όπως η Βολιβία και, σε μικρότερο βαθμό, από το υγροποιημένο φ.α. (LNG) από πηγές όπως το Τρινιντάντ και το Τομπάγκο. Η κυβέρνηση της Αργεντινής ευελπιστεί να σταματήσει να εισάγει LNG έως το 2022.

Ο σχηματισμός Vaca Muerta στη λεκάνη Neuquen (Εικόνα 3-33), εκτιμάται ότι διαθέτει 308 Tcf τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού φ.α., εκτείνεται σε τέσσερις επαρχίες (Neuquén, La Pampa, Mendoza και Rio Negro) και το μέγεθός του είναι σχεδόν διπλάσιο από του σχηματισμού Eagle Ford στο Τέξας. Οι γεωλογικές του ιδιότητες του σχηματισμού έχουν συγκριθεί με τις αντίστοιχες του σχηματισμού



Εικόνα 3-33: Λεκάνη Neuquén σχιστολιθικού αερίου στην Αργεντινή (EIA/ARI, 2013).

EagleFord, όσον αφορά το βάθος, το πάχος, την πίεση και την ορυκτολογική του σύσταση (Πίνακας 3-23).

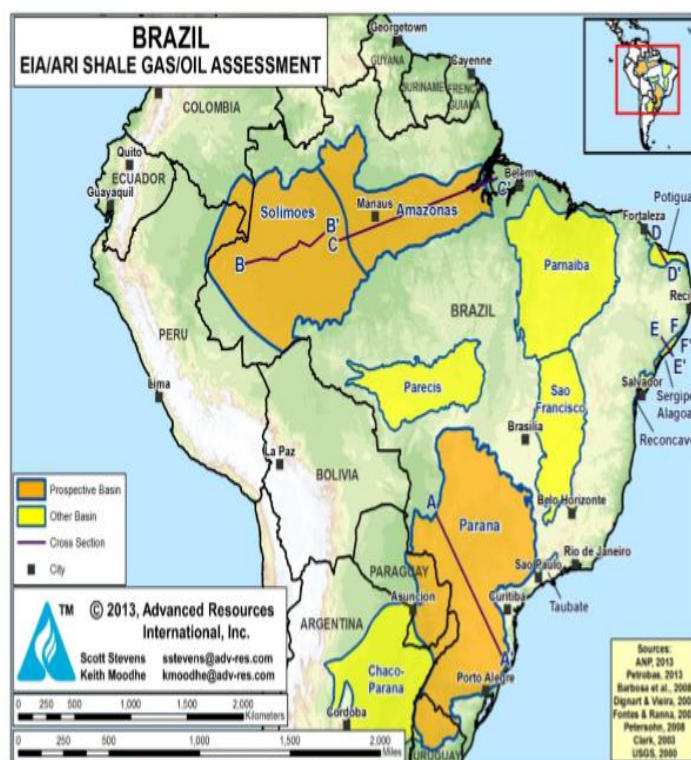
Περισσότερες από 588 κάθετες και οριζόντιες γεωτρήσεις έχουν ορυχθεί και ολοκληρωθεί στο σχηματισμό Vaca Muerta από το 2010. Σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας και Μεταλλείων της Αργεντινής (Ministry of Energy and Mines), η παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου ανήλθε σε 64,6 δισεκατομμύρια κυβικά πόδια (Bcf) στο τέλος του 2015. Η κρατική εταιρεία ενέργειας της Αργεντινής - YPF, ο οποίος αποτελεί τον διαχειριστή του σχιστολιθικού σχηματισμού Vaca Muerta, έχει συνάψει κοινοπρακτική σύμβαση με άλλες εταιρείες όπως οι Chevron, Dow Chemical, και Petronas, για την περαιτέρω ανάπτυξη του. Η τρέχουσα παραγωγή από το σχηματισμό Vaca Muerta είναι περίπου 50.000 bbl / ημέρα, ποσότητα που αναμένεται να διπλασιαστεί μέχρι το 2018 (OilPrice, 2016).

Αν και ο σχηματισμός Vaca Muerta έχει παρόμοια γεωλογία με τον σχηματισμό Eagle Ford στις Ηνωμένες Πολιτείες, είναι δύσκολο η ιστορία της παραγωγής του Eagle Ford να αναπαραχθεί και στην Αργεντινή. Ο μέσος όρος κόστους όρυξης και ολοκλήρωσης μιας οριζόντιας γεώτρησης εκτιμάται ότι το 2015 ήταν 11,2 εκατομμύρια συγκρίσει με 6,5 εκατομμύρια δολάρια στον σχηματισμό Eagle Ford.

Εν τέλει, η οικονομική ανταγωνιστικότητα των εγχώριων πόρων σχιστολιθικού φ.α. της Αργεντινής θα εξαρτηθεί από το κόστος των εγχώριων γεωτρήσεων, την ολοκλήρωση και την παραγωγικότητα των νέων γεωτρήσεων. Παρά το γεγονός ότι η Αργεντινή έχει εδραιώσει την ενεργειακή βιομηχανία της, ο τομέας του πετρελαίου και του φ.α. είναι σχετικά μικρός. Η Αργεντινή έχει σχετικά υψηλό εργατικό κόστος και χαμηλό εισαγόμενο κόστος εξοπλισμού, έλλειψη εξειδικευμένων γεωτρυπάνων σχιστολιθικού αερίου και περιορισμένες υποδομές, παράγοντες οι οποίοι ενδέχεται να παρεμποδίσουν τις προσπάθειες για ταχεία αύξηση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου (EIA, 2017) (Oil&GasJournal, 2015).

3.3.2. Βραζιλία

Η Βραζιλία κατατάσσεται στην 10^η θέση παγκοσμίως μεταξύ των χωρών με τα μεγαλύτερα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, σύμφωνα με την μελέτη αξιολόγησης των EIA και ARI. Το μεγαλύτερο δυναμικό αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου βρίσκεται στην λεκάνη Parecis, στην πολιτεία του Mato Grosso, στην λεκάνη Parnaíba, στην πολιτεία του Maranhão and Piauí, στην λεκάνη Recôncavo, στην πολιτεία της Bahia, στην λεκάνη Paraná, στις πολιτείες Paraná και Mato Grosso do Sul και τέλος στην λεκάνη São Francisco, στις πολιτείες Minas Gerais και Bahia. (Εικόνα 3-34).



Εικόνα 3-34: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου στη Βραζιλία (EIA/ARI, 2013).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

Τα αρχικά επί τόπου αποθέματα της εκτιμώνται σε 1.279 Tcf, με τα 450 Tcf να κατανέμονται στη λεκάνη Paraná, περίπου 323 Tcf στη λεκάνη Solimões και 507 Tcf στη λεκάνη Amazonas. Τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα ανέρχονται σε 245 Tcf και κατανέμονται αναλόγως στις προαναφερθείσες λεκάνες: 81 Tcf, 65 Tcf και 100 Tcf αντίστοιχα. (Πίνακας 3-23).

Επί του παρόντος δεν έχει πραγματοποιηθεί εμπορική παραγωγή φ.α. από τα σχιστολιθικά κοιτάσματα που διαθέτει, αλλά η Βραζιλία έχει τη δυνατότητα να γίνει ένας σημαντικός παραγωγός σχιστολιθικού αερίου. Ωστόσο, το σχιστολιθικό αέριο βρίσκεται υπό αυστηρό έλεγχο στην Βραζιλία, λόγω των περιβαλλοντικών ζητημάτων που σχετίζονται με την ανάπτυξή του. Η ANP (National Petroleum, Natural Gas and Biofuel Agency) ώθησε στη θέσπιση της απόφασης No. 21/2014, η οποία ρυθμίζει την υδραυλική ρωγμάτωση στους μη συμβατικούς ταμιευτήρες, προκειμένου να καλύψει το νομοθετικό κενό σχετικά με τα ζητήματα της υδραυλικής ρωγμάτωσης.

Πίνακας 3-23: Χαρακτηριστικά ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στη Βραζιλία (EIA/ARI, 2013).

Basic Data	Basin/Gross Area		Parana (747,000 mi ²)			Solimoes (350,000 mi ²)		Amazonas (230,000 mi ²)		
	Shale Formation		Ponta Grossa			Jandiutuba		Barreirinha		
	Geologic Age		Devonian			Devonian		Devonian		
	Depositional Environment		Marine			Marine		Marine		
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		25,600	18,050	22,840	8,560	54,750	5,520	3,260	44,890
	Thickness (ft)	Organically Rich	1,000	1,000	1,000	160	160	260	300	300
		Net	300	300	300	120	120	195	225	225
	Depth (ft)	Interval	9,500 - 13,000	10,000 - 14,000	12,000 - 16,400	3,300 - 10,000	10,000 - 16,400	6,500 - 13,000	8,000 - 14,000	3,300 - 16,400
Average		11,000	12,000	14,000	7,500	12,000	9,500	11,500	12,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
	Average TOC (wt. %)		2.0%	2.0%	2.0%	2.2%	2.2%	2.5%	2.5%	2.5%
	Thermal Maturity (% Ro)		0.85%	1.15%	1.50%	1.15%	1.60%	0.85%	1.15%	1.60%
	Clay Content		Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
Resource	Gas Phase		Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Wet Gas	Dry Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		25.5	55.7	91.3	20.1	36.1	15.2	45.4	70.2
	Risked GIP (Tcf)		78.5	120.7	250.4	25.8	296.8	12.6	22.2	472.4
	Risked Recoverable (Tcf)		6.3	24.1	50.1	5.2	59.4	1.0	4.4	94.5

Στην απόφαση προβλέπονται - μεταξύ άλλων - κυρίως τα ακόλουθα: i) υποχρεωτική υιοθέτηση συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου λυμάτων-αποβλήτων, της επεξεργασίας και του σχεδίου απόθεσής τους, ii) απαίτηση για προκαταρκτικές μελέτες προκειμένου να δοθεί έγκριση των δραστηριοτήτων από το ANP (π.χ. προσομοίωση της ρωγμάτωσης και ανάλυση κινδύνου), (iii) προϋποθέσεις που πρέπει να τηρούνται σε σχέση με την ίδια την δραστηριότητα, και (iv) προετοιμασία ενός σχεδίου αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης (Norton Rose Fullbright, 2015).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

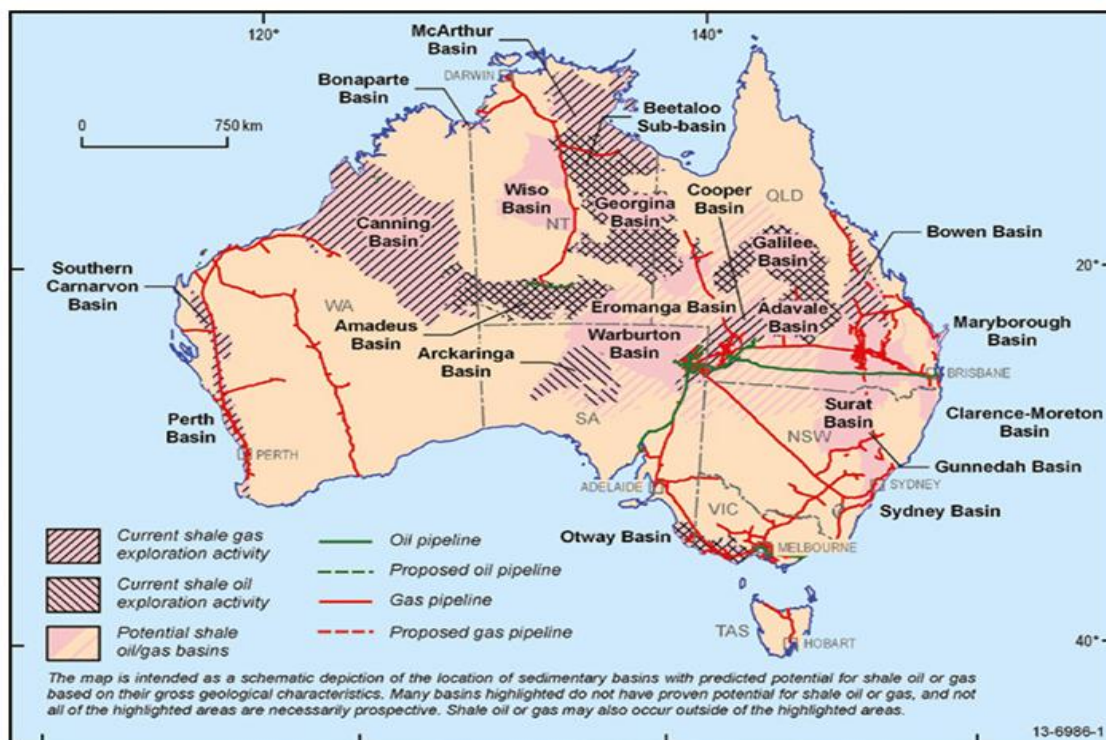
3.4. Αυστραλία

Η Αυστραλία, ως σημαντικός παραγωγός CBM, αποτελεί μία από τις λίγες χώρες στις οποίες παράγονται εμπορικές ποσότητες μη συμβατικού φ.α. Τα μεγάλα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, έγκλειστου αερίου και CBM αποτελούν εχέγγυο για τη συνεχιζόμενη ισχυρή ανάπτυξη της παραγωγής μη συμβατικού φ.α. σε μακροπρόθεσμη βάση. Η ανάπτυξη του μη συμβατικού φ.α. ενισχύεται από το γεγονός ότι τα αποθέματα συμβατικού φ.α., αν και σημαντικά, είναι κυρίως υπεράκτια (offshore) και ακριβά προς ανάπτυξη για τις εθνικές αγορές.

Αν και η έρευνα για σχιστολιθικό αέριο βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο, οι σχετικές δραστηριότητες έχουν αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Σύμφωνα με έκθεση που δημοσιεύθηκε από την ΕΙΑ, τον Ιούνιο του 2013, η Αυστραλία διαθέτει γεωλογικές και βιομηχανικές συνθήκες που μοιάζουν με αυτές των Η.Π.Α. και του Καναδά. Τα επί τόπου αρχικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου εκτιμώνται σε 2.046 Tcf, ενώ τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα της σε 437 Tcf (Πίνακας 3-24). Με τους σημερινούς ρυθμούς παραγωγής, αυτό ισοδυναμεί με περίπου 185 χρόνια συνολικής παραγωγής φ.α. στην Αυστραλία.

Το σχιστολιθικό αέριο συγκεντρώνεται στη λεκάνη Cooper στη νότια Αυστραλία, στη λεκάνη Maryborough στο Queensland, στις λεκάνες Perth και Canning που βρίσκονται στη Δυτική Αυστραλία και στις λεκάνες Beetaloo και Georgina στη βόρεια επικράτεια. Από τις προαναφερθείσες λεκάνες, η λεκάνη Canning εκτιμάται ότι διαθέτει τα υψηλότερα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, ύψους 235 Tcf (Εικόνα 3-35).

Σύμφωνα με έκθεση που δημοσίευσε το 2013 το Australian Council of Learned Academies (ACOLA), διαπιστώθηκε ότι η Αυστραλία μπορεί να διαθέτει περισσότερα από 1000 Tcf ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου. Η απόκλιση με την ΕΙΑ οφείλεται στο γεγονός ότι η δεύτερη δεν έχει συμπεριλάβει όλες τις λεκάνες που παρουσιάζουν πιθανότητες ύπαρξης σχιστολιθικού αερίου.



Εικόνα 3-35: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου, εμπορική δραστηριότητα και υποδομές LNG στην Αυστραλία (Norton Rose Fullbright, 2015).

Η λεκάνη Cooper, αποτελεί τη μόνη λεκάνη όπου παράγεται σχιστολιθικό αέριο στην Αυστραλία σήμερα, ενώ διαθέτει τη μεγαλύτερη βιωσιμότητα για την εμπορική ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου. Αυτό προκύπτει από το μέγεθος των τεχνικών ανακτήσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου που εκτιμώνται σε 92,9 Tcf και από την εγγύτητα σε υφιστάμενα στην περιοχή δίκτυα αγωγών. Εταιρείες όπως οι Santos, Beach Energy, Drillsearch Energy, Senex Energy, Strike Energy και Icon Energy έχουν αξιολογήσει το δυναμικό σχιστολιθικού αερίου στη λεκάνη Cooper.

Εν γένει, έχουν ορυχθεί λίγες γεωτρήσεις για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, λόγω της μεγάλης παραγωγής συμβατικού φ.α. στη Αυστραλία και μη συμβατικού CBM, καθώς και λόγω έλλειψης υποδομών. Οι δύο πρώτες κατακόρυφες γεωτρήσεις για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου ορύχθηκαν στη λεκάνη Cooper το 2011 από την εταιρεία Beach Energy. Η πρώτη επιτυχής γεώτρηση παραγωγής σχιστολιθικού αερίου πραγματοποιήθηκε το 2012 από την εταιρία Santos, στην ίδια λεκάνη, πετυχαίνοντας σταθερό ρυθμό παραγωγής της τάξης των 3.000 Mcf/day. Η κατακόρυφη γεώτρηση ορύχθηκε σε απόσταση 350 m από υπάρχουσες υποδομές αγωγών και 8 km από μονάδα επεξεργασίας φ.α..

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκαν 2 ακόμα γεωτρήσεις από την εταιρεία Beach Energy στη λεκάνη Cooper το 2012 και το 2013, πετυχαίνοντας μέγιστο ρυθμό παραγωγής της τάξης των 2.100 Mscf/d και 2.600 Mscf/d, αντίστοιχα.

Οι υπόλοιπες λεκάνες της Αυστραλίας δεν διαθέτουν κατάλληλες υποδομές, γι' αυτό και οι λεκάνες της Δυτικής Αυστραλίας και της Βόρειας Επικράτειας, που είναι ιδιαίτερα απομακρυσμένες, είναι πιθανό να απαιτήσουν σημαντικές δεσμεύσεις κεφαλαίων για την ανάπτυξη των υποδομών για τη διοχέτευση του φ.α. στην αγορά. Πρόσφατα (2015), ορύχθηκε γεώτρηση στη λεκάνη Beetaloo και πραγματοποιήθηκε υδραυλική ρωγμάτωση του σχηματισμού το 2016, έχοντας ως αποτέλεσμα μια σημαντική εξέλιξη στην εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου της Βόρεια Επικράτειας της χώρας.

Τέλος, εκτιμάται ότι μεταξύ 2012-2017 θα έχουν επενδυθεί στη βιομηχανία φ.α./ πετρελαίου (συμπεριλαμβανομένου και του σχιστολιθικού αερίου) συνολικά 150 δισεκατομμύρια δολάρια (Shale Gas in Australia, 2015).

Πίνακας 3-24: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στην Αυστραλία (EIA, 2015).

Basic Data	Basin/Gross Area	Cooper (46,900 mi ²)							
	Shale Formation	Roseneath-Epsilon-Murteree (Nappamerri)			Roseneath-Epsilon-Murteree (Patchawarra)			Roseneath-Epsilon-Murteree (Tenappera)	
	Geologic Age	Permian			Permian			Permian	
	Depositional Environment	Lacustrine			Lacustrine			Lacustrine	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)	625	555	3,525	1,010	1,150	170	200	
	Thickness (ft)	Organically Rich	250	500	500	125	100	100	225
		Net	150	300	300	75	60	60	135
	Depth (ft)	Interval	5,000 - 7,000	6,000 - 10,000	7,000 - 13,000	7,000 - 9,200	8,000 - 10,000	8,000 - 13,000	5,000 - 6,500
Average		6,000	8,000	10,000	8,000	9,000	10,500	5,500	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Normal	Normal	Normal	Normal	
	Average TOC (wt. %)	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	
	Thermal Maturity (% Ro)	0.85%	1.15%	2.00%	0.85%	1.15%	1.30%	0.85%	
	Clay Content	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	
Resource	Gas Phase	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Assoc. Gas	
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)	13.1	87.6	100.1	7.3	15.6	18.6	10.1	
	Risked GIP (Tcf)	6.1	36.5	264.7	4.4	10.8	1.9	1.2	
	Risked Recoverable (Tcf)	0.7	9.1	79.4	0.4	2.7	0.5	0.1	

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

Basic Data	Basin/Gross Area		Maryborough (4,290 mi ²)		Perth (20,000 mi ²)			Canning (181,000 mi ²)									
	Shale Formation		Goodwood/Cherwell Mudstone		Carynginia		Kockatea		Goldwyer								
	Geologic Age		Cretaceous		U. Permian		L. Triassic		M. Ordovician								
	Depositional Environment		Marine		Marine		Marine		Marine								
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		1,540		2,200		860		1,030		14,900		19,620		22,860		
	Thickness (ft)	Organically Rich		1,250		950		300		300		1,000		1,300		1,300	
		Net		250		250		160		160		250		250		250	
	Depth (ft)	Interval		5,000 - 16,500		3,300 - 16,500		3,300 - 15,100		9,200 - 16,500		3,300 - 7,200		7,200 - 10,500		10,500 - 16,500	
Average		9,500		10,000		9,200		11,000		5,200		8,800		13,500			
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Mod. Overpress.		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		
	Average TOC (wt. %)		2.0%		4.0%		5.6%		5.6%		3.0%		3.0%		3.0%		
	Thermal Maturity (% Ro)		1.50%		1.40%		0.85%		1.15%		0.85%		1.15%		1.40%		
	Clay Content		Low		Low		Low		Low		Low		Low		Low		
Resource	Gas Phase		Dry Gas		Dry Gas		Assoc. Gas		Wet Gas		Assoc. Gas		Wet Gas		Dry Gas		
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		110.7		94.0		14.0		58.9		18.7		67.1		109.2		
	Risky GIP (Tcf)		63.9		124.1		7.2		36.4		83.5		395.0		748.7		
	Risky Recoverable (Tcf)		19.2		24.8		0.6		7.3		6.7		79.0		149.7		

Basic Data	Basin/Gross Area		Georgina (125,000 mi ²)					Beetaloo (14,000 mi ²)																	
	Shale Formation		L. Arthur Shale (Dulcie Trough)			L. Arthur Shale (Toko Trough)		M. Velkerri Shale			L. Kyalla Shale														
	Geologic Age		M. Cambrian			M. Cambrian		Precambrian			Precambrian														
	Depositional Environment		Marine			Marine		Marine			Marine														
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		2,260		1,950		3,220		2,010		790		2,650		2,130		2,480		4,010		2,400		1,310		
	Thickness (ft)	Organically Rich		115		115		65		65		65		450		450		450		520		520		520	
		Net		85		85		50		50		50		100		100		100		130		130		130	
	Depth (ft)	Interval		7,200 - 10,500		2,300 - 3,300		3,300 - 4,000		4,000 - 5,000		5,000 - 6,500		3,300 - 5,000		5,000 - 7,000		7,000 - 8,700		3,300 - 5,000		5,000 - 6,000		6,000 - 8,000	
Average		8,800		3,000		3,600		4,500		5,700		4,200		6,000		7,500		4,200		5,500		6,500			
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Mod. Overpress.		Mod. Overpress.		Mod. Overpress.		Mod. Overpress.		Mod. Overpress.		Mod. Overpress.		
	Average TOC (wt. %)		3.0%		5.5%		5.5%		5.5%		5.5%		4.0%		4.0%		4.0%		2.5%		2.5%		2.5%		
	Thermal Maturity (% Ro)		1.15%		1.50%		0.85%		1.15%		1.50%		0.85%		1.15%		1.60%		0.85%		1.15%		1.60%		
	Clay Content		Low		Low		Low		Low		Low		Low		Low		Low		Low		Low		Low		
Resource	Gas Phase		Wet Gas		Dry Gas		Assoc. Gas		Wet Gas		Dry Gas		Assoc. Gas		Wet Gas		Dry Gas		Assoc. Gas		Wet Gas		Dry Gas		
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		22.8		29.1		4.5		17.5		26.7		7.2		30.7		42.0		11.7		37.1		49.6		
	Risky GIP (Tcf)		19.3		21.3		5.5		13.2		7.9		9.6		32.7		52.0		23.5		44.5		32.5		
	Risky Recoverable (Tcf)		3.9		4.3		0.4		2.6		1.6		1.0		8.2		13.0		2.3		11.1		8.1		

3.5. Ευρώπη

Το φαινόμενο της αποκαλούμενη «επανάστασης» του σχιστολιθικού αερίου που λαμβάνει χώρα στις Η.Π.Α., δεν μπορούσε να μην απασχολήσει την ενεργειακά εξαρτώμενη Ευρώπη. Η εμπειρία και η επιτυχία των ΗΠΑ στην παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, έχει πυροδοτήσει το ενδιαφέρον πολλών ευρωπαϊκών χωρών, οι οποίες έχουν αρχίσει να αναπτύσσουν σχέδια για την εξόρυξη των δικών τους αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου. Βέβαια η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη παραμένει ακόμα αμφίβολη λόγω ενός μεγάλου εύρους οικονομικών, πολιτικών, περιβαλλοντικών και κανονιστικών προβλημάτων.

Τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη βρίσκονται σε τρεις μεγάλες ζώνες, οι οποίες περιέχουν πολλές λεκάνες, υπό-λεκάνες και σχηματισμούς. Η πρώτη ζώνη εκτείνεται από την ανατολική Δανία και τη νότια Σουηδία μέχρι τη βόρεια και ανατολική Πολωνία,

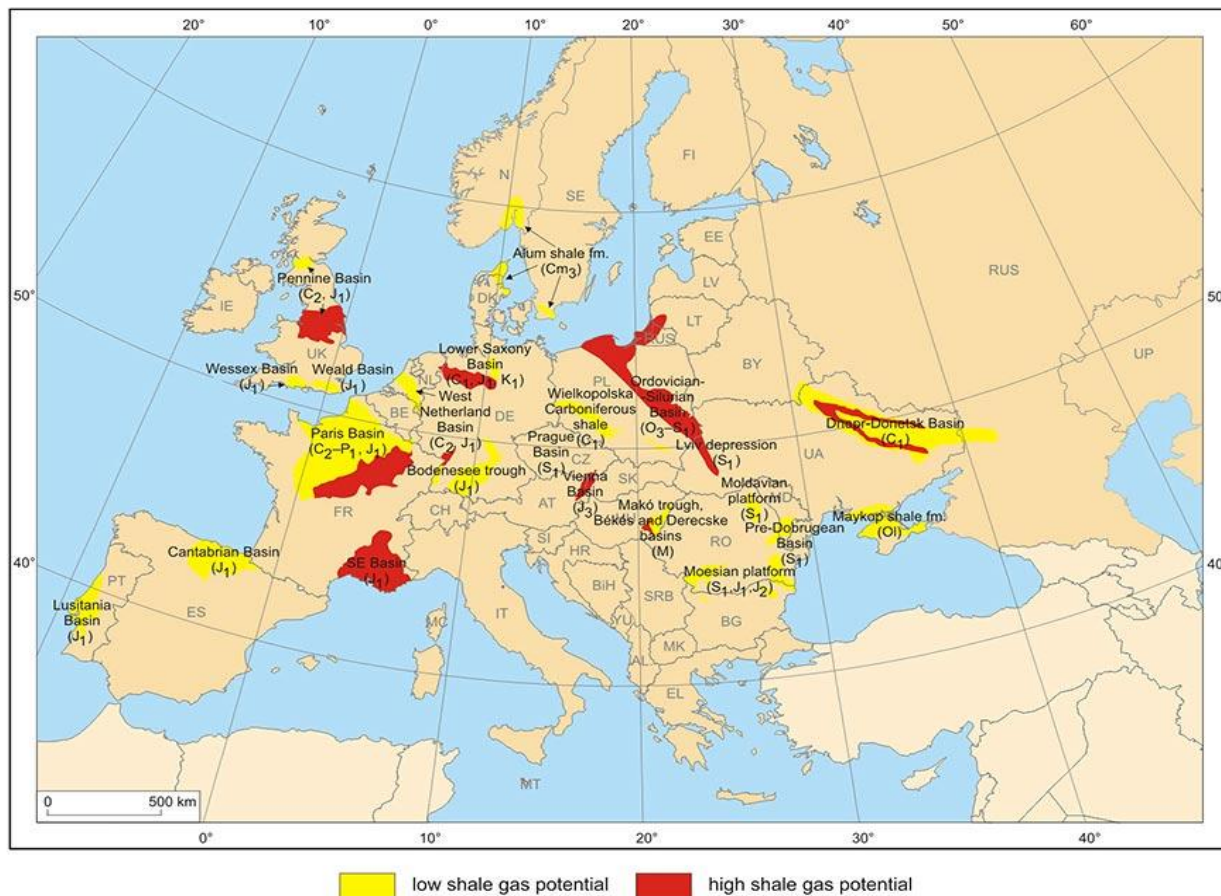
Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

περιλαμβάνοντας του σχιστολιθικούς σχηματισμούς Alum στη Σουηδία και τη Δανία, και Silurian στην Πολωνία. Η δεύτερη ζώνη ξεκινάει από την βορειοδυτική Αγγλία, διασχίζει τις Κάτω Χώρες και την βορειοδυτική Γερμανία και καταλήγει στην νοτιοδυτική Πολωνία. Τέλος, η τρίτη ζώνη εκτείνεται από τη νότια Αγγλία, διέρχεται από τη λεκάνη του Παρισιού στη Γαλλία και καταλήγει στην Ολλανδία, τη βόρεια Γερμανία και την Ελβετία. (Εικόνα 3-36).

Συνολικά απαντώνται 11 μεγάλοι σχηματισμοί σχιστολιθικού αερίου σε έξι ευρωπαϊκές χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Ρωσίας, που θα μπορούσαν να παράγουν επαρκή ποσότητα φ.α. για μία εκτεταμένη χρονική περίοδο. Τα κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου περιλαμβάνουν τις λεκάνες: Baltic, Podlasie και Lublin στην Πολωνία, τις Νότιες και Βόρειες Πετρελαϊκές Επαρχίες στο Ηνωμένο Βασίλειο, τη λεκάνη Lower Saxony στη Γερμανία, τις λεκάνες Paris και South Eastern στη Γαλλία, τις λεκάνες Lviv Depression και Donetsk στην Ουκρανία και τις λεκάνες West Siberian και Bazhenov στην Ρωσία (Εικόνα 3-37) (IEA, 2012).



Εικόνα 3-36: Οι λεκάνες με τα σημαντικότερα αποθέματα μη συμβατικού φυσικού αερίου στην Ευρώπη (IEA, 2012).



Εικόνα 3-37: Δυναμικό σχιστολιθικών αποθεμάτων στην Ευρώπη (Wang&Hefley, 2016).

Οι ευρωπαϊκές χώρες δεν έχουν ακριβείς εκτιμήσεις αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου και γι' αυτό οι σχετικές εκτιμήσεις προέρχονται από τους εκπροσώπους ξένων επιχειρήσεων και διεθνών οργανισμών και κυρίως από τις Ηνωμένες Πολιτείες. Σύμφωνα με την ΕΙΑ, η Ευρώπη μπορεί να διαθέτει 16 Tcm αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, ενώ σύμφωνα με την «US Statistics Agency at the US Department of Energy» η εκτίμηση είναι υψηλότερη καθώς ανέρχεται στα 18.1 Tcm. Επιπροσθέτως, τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη εκτιμώνται σε 5.3 Tcm. Με βάση αυτά τα δεδομένα, έχουν γίνει παραδοχές σχετικά με τις ευκαιρίες που παρουσιάζονται στην Ευρώπη ώστε να αλλάξει ριζικά την δομή της αγοράς του φ.α., μειώνοντας σημαντικά την εξάρτησή της στην προμήθεια υδρογονανθράκων από τη Ρωσία, τη Μέση Ανατολή και τη Βόρεια Αφρική (Rezaee, 2015).

Μέχρι στιγμής δεν υφίσταται καμία παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη. Το αν θα αρχίσει και πόσο σύντομα είναι συνυφασμένο με ένα πλήθος παραγόντων, όπως η πολιτική της εκάστοτε χώρας. Η Ευρώπη αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη περιφερειακή αγορά φ.α., της οποίας η ζήτηση ανέρχεται περίπου στα 550 Bcm, και βάσει των εκτιμήσεων συνάγεται

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

το συμπέρασμα ότι τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες της Ευρώπης για 30-35 χρόνια.

Ανεξαρτήτως της έλλειψης γεωλογικών στοιχείων και της μη ακρίβειας των σχετικών πληροφοριών, χώρες όπως η Πολωνία, η Γερμανία, η Ολλανδία, η Ουγγαρία, η Σουηδία, η Μεγάλη Βρετανία και η Γαλλία θεωρείται ότι μπορεί να έχουν έως αποθέματα σχιστολιθικού φ.α. ύψους έως και 15 Tcm και ότι στο μέλλον μπορεί να αναπτυχθούν σε βιομηχανική κλίμακα. (Εικόνα 3-38).



Εικόνα 3-38: Χώρες με δυναμικό ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη (Zhiltsov, 2017).

Όσον αφορά το μέγεθος των αποθεμάτων των ευρωπαϊκών χωρών, την πρώτη θέση καταλαμβάνει η Πολωνία με 2,2 Tcm - ή το 29% των αποθεμάτων στην Ευρώπη - και η Γαλλία με 5 Tcm, ακολουθούμενες από την Νορβηγία, την Ουκρανία, τη Σουηδία, τη Δανία και το Ηνωμένο Βασίλειο (EIA/ARI, 2013).

3.5.1. Κεντρική Ευρώπη

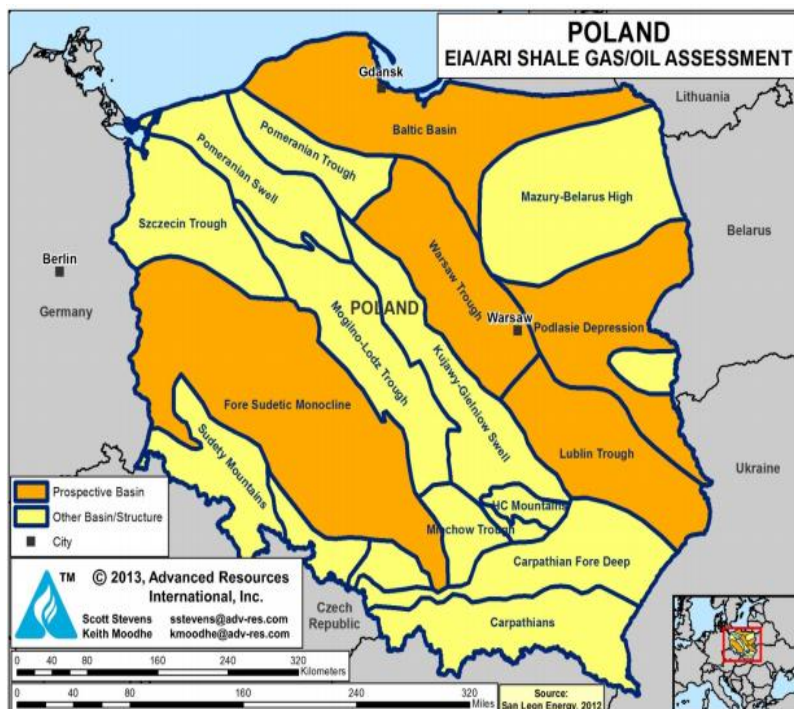
3.5.1.1. Πολωνία

Μία από τις πρώτες χώρες στην Ευρώπη, που έστρεψε την προσοχή της στην παραγωγή φ.α. από τον σχιστόλιθο, ήταν η Πολωνία, η οποία διαθέτει σημαντικά αποθέματα σχιστολιθικού φ.α.. Η στροφή της Πολωνίας προς το σχιστολιθικό αέριο, πυροδοτήθηκε από την πτώση της παραγωγής συμβατικού φ.α της χώρας, λόγω της διακοπής των ερευνών για νέα πεδία. Η λεγόμενη «επανάσταση του σχιστολιθικού αερίου» στην Πολωνία διακατείχε την υποστήριξη εταιρειών των Ηνωμένων Πολιτειών, οι οποίες ανέμεναν την αύξηση της παραγωγής φ.α. από 5 σε 10 Bcm και περισσότερο. Η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου υποστηρίχθηκε με ένθερμο ενθουσιασμό και συνεχίζει ακόμα και σήμερα από την Πολωνική κυβέρνηση και ορίστηκε ως προτεραιότητα στον τομέα της ενεργειακής πολιτικής της χώρας. Το γεγονός αυτό επιτρέπει να υποθέσουμε ότι η εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία αποτελεί τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να επιτρέψει την άμβλυση της εξάρτησής της από την εισαγωγή φ.α. από τη Ρωσία.

Η Πολωνία διαθέτει πολλές περιοχές που παρουσιάζουν σημαντικό δυναμικό αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου, ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος αυτού βρίσκεται κατανεμημένο σε τέσσερις λεκάνες: i) στη Baltic, ii) στη Lublin, iii) στη Podlasie και iv) στη Fore Sudetic. (Εικόνα 3-39). Η λεκάνη Baltic στη βόρεια Πολωνία εξακολουθεί να διαθέτει τις μεγαλύτερες μελλοντικές προοπτικές προς εκμετάλλευση ενώ χαρακτηρίζεται από μία σχετικά απλή δομή. Οι λεκάνες Lublin και Podlasie, στη νότια και ανατολική Πολωνία αντίστοιχα, διαθέτουν και αυτές δυναμικό αλλά χαρακτηρίζονται από μία πιο πολύπλοκη δομή που μπορεί να περιορίσει την οριζόντια διάτρηση του σχιστόλιθου. Τέλος, η λεκάνη Fore Sudetic στην νοτιοδυτική Πολωνία είναι λιγότερη αναγνωρισμένη αλλά διαθέτει το ίδιο δυναμικό σχιστολιθικών αποθεμάτων με τη λεκάνη Cooper στην Αυστραλία.

Η Πολωνία εκτιμούσε αρχικά ότι τα αποθέματα σχιστολιθικού φ.α. στη χώρα θα μπορούσαν να είναι πολύ μεγαλύτερα από ό,τι στις Η.Π.Α., καθώς οι γεωλογικές συνθήκες ήταν πολύ ευνοϊκότερες συγκριτικά με τους σχηματισμούς στις Η.Π.Α. Οι εκτιμήσεις αυτές όμως μειώθηκαν σημαντικά από την έκθεση που εκπόνησε το Πολωνικό Γεωλογικό Ινστιτούτο - Εθνικό Ερευνητικό Ινστιτούτο (PGI-NRI) τον Μάρτιο του 2012. Σύμφωνα με τους γεωλόγους εμπειρογνώμονες της χώρας, η Πολωνία μπορεί να διαθέτει από 346,1Bcm έως 767,9 Bcm σε αποθέματα σχιστολιθικού αερίου. Σύμφωνα με την EIA/ARI(2013), η Πολωνία διαθέτει τα μεγαλύτερα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη - κάτι που ακόμα δεν έχει επιβεβαιωθεί από ερευνητικές γεωτρήσεις.

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου



Εικόνα 3-39: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία (EIA/ARI, 2013).

Η Πολωνία εκτιμά ότι διαθέτει 5,8 Tcf αποδεδειγμένα αποθέματα φ.α. και το 2011 η αρχική εκτίμηση των τεχνικώς ανακτήσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου ήταν 187 Tcf, ενώ το 2013 η εκτίμηση αυτή μειώθηκε στην τιμή των 148 Tcf. Η ARI (2013) 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 στη Lublin, τα 53,6 Tcf στη Podlasie

και τα 106,7 Tcf στη Fore Sudetes (Πίνακας 3-25). Σημειωτέον, η ζήτηση στην Πολωνία σε φ.α. ετησίως ανέρχεται σε 16 Bcf (PortalonCentralEastern, 2015) (Nature International weekly Journal of Science, 2016).

Παρά το αρχικό αισιόδοξο κλίμα που διακατείχε την Πολωνία το 2010 όσον αναφορά τις προοπτικές αξιοποίησης του σχιστολιθικού αερίου, η σημερινή κατάσταση της χώρας έχει αλλάξει άρδην, έχοντας οδηγηθεί στο αντίθετο άκρο, αυτό της απαισιοδοξίας.

Τα πρώτα αποτελέσματα των γεωτρήσεων που ανακοινώθηκαν από την εταιρεία *Aurelian Oil*, τον Σεπτέμβριο του 2011 δεν ήταν τόσο ενθαρρυντικά όσο αναμενόταν. Η ποσότητα του παραγόμενου σχιστολιθικού αερίου ήταν χαμηλότερη, η κατανάλωση νερού ήταν πολύ μεγαλύτερη από την αναμενόμενη, ενώ παράλληλα η εξόρυξη του φ.α. απαιτούσε την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών (αγωγοί μεταφοράς φ.α., εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χημικά εργοστάσια), η οποία θα απαιτούσε την επένδυση πολλών δισεκατομμυρίων δολαρίων.

Πίνακας 3-25: Χαρακτηριστικά ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμώμενα αποθέματα στη Πολωνία (EIA, 2015).

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	Llandovery			Llandovery	Llandovery			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	

Οι γεωτρήσεις που ορύχθηκαν τα επόμενα έτη (2012-2015) από μία σειρά από εταιρείες, οι οποίες είχαν ξεκινήσει την έρευνα σχιστολιθικού αερίου, είχαν τα ίδια μη ελπιδοφόρα αποτελέσματα. Στα μέσα του 2013 η αμερικανική εταιρεία, *ConocoPhillips*, κατάφερε να επιτύχει σταθερή παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, αν και ο παραγόμενος όγκος δεν κατάφερε να φθάσει το επίπεδο της εμπορικής κλίμακας.

Οι πολωνικές αρχές, το 2014, προκειμένου να διατηρήσουν ενεργό το ενδιαφέρον των ξένων εταιρειών για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, εξέτασαν διάφορες εναλλακτικές επιλογές για την παροχή φορολογικών προνομίων. Ωστόσο, η πολιτική δημιουργίας ελκυστικών συνθηκών για τις ξένες εταιρείες δεν ήταν αποτελεσματική, με αποτέλεσμα εταιρίες όπως οι : *ExxonMobil*, *Eni*, *MarathonOil*, *SanLeonEnergy*, *BNK Petroleum*, *TalismanEnergy*, *3 LegsResources* και πιο πρόσφατα - το 2015 - η *Chevron*, να έχουν αποσυρθεί από τη χώρα. Από την άλλη πλευρά όμως παρατηρείται και η είσοδος νέων εταιρειών, όπως η *Stena*.

Οι λόγοι που οδήγησαν στην έξοδο των εταιριών αυτών από την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, ήταν το μεγάλο ποσοστό που έπρεπε να καταβληθεί από τις εταιρίες για την έκδοση της άδειας έρευνας και παραγωγής σχιστολιθικού αερίου, οι μικρές ποσότητες φ.α. που κατάφεραν να παραχθούν, οι οποίες δεν επαρκούσαν για να αντισταθμίσουν το υψηλό κόστος παραγωγής, η μη αποδοτικότητα των γεωτρήσεων, οι ανεπαρκείς γνώσεις για τους σχιστολιθικούς σχηματισμούς, οι τεχνικές δυσκολίες, η έλλειψη εξοπλισμού και υποδομών, καθώς και το μεγάλο βάθος στο οποίο βρισκόταν το σχιστολιθικό αέριο (50% μεγαλύτερο από αυτό των Η.Π.Α.), το οποίο αύξανε σημαντικά το κόστος εξόρυξης και απαιτούσε

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

μεγαλύτερες επενδύσεις. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, το κόστος όρυξης μίας γεώτρησης στη λεκάνη Baltic έφτανε έως και τα 5 εκατομμύρια δολάρια, ενώ στο νότιο τμήμα της Πολωνίας προσέγγιζε τα 10 εκατομμύρια δολάρια. Σημειωτέον, η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία είναι εφικτή υπό την προϋπόθεση κατασκευής υποδομών συστήματος αγωγών, έτσι ώστε να επιτευχθεί η σύνδεση των σχιστολιθικών σχηματισμών με το σύστημα αγωγών. Σύμφωνα με Πολωνούς εμπειρογνώμονες, η επίτευξη ενός επιπέδου παραγωγής σχιστολιθικού αερίου της τάξης περίπου των 6 Bcm ετησίως έως το 2025, απαιτεί την επένδυση 11 δισεκατομμυρίων δολαρίων, καθώς και 1,5 δισεκατομμύρια δολάρια για την αύξηση της παραγωγής από το 2035, χρηματικά ποσά ανέφικτα για την Πολωνική κυβέρνηση και τις πολωνικές εταιρείες. Τα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η Πολωνική κυβέρνηση, οδήγησαν στην αναβολή της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου σε εμπορική κλίμακα, μέχρι και την επόμενη 10ετία (Zhiltsov, 2017) (AustralianGovernment, 2015).

Το ενδιαφέρον για την παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. στην Πολωνία μειώνεται καθώς δεν υπάρχουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα από την όρυξη γεωτρήσεων. Μέχρι και το 2016, στην Πολωνία ορύχθηκαν 72 ερευνητικές γεωτρήσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν 18 οριζόντιες και 54 κατακόρυφες, ενώ υδραυλική ρωγμάτωση εφαρμόστηκε μόνο σε 10 από αυτές. Αν και επενδύθηκαν συνολικά περίπου 1 δις δολάρια, αυτές οι γεωτρήσεις είναι ακατάλληλες για εμπορική εκμετάλλευση. Η τελευταία γεώτρηση ορύχθηκε στην περιοχή Stara Kiszewa, στην επαρχία Pomeranian, στη λεκάνη Baltic, ολοκληρώθηκε το 2015 από την Εθνική εταιρεία πετρελαίου και φ.α. της Πολωνίας (PGNiG- *National oil and gas company of Poland*) και η υδραυλική ρωγμάτωση του σχηματισμού πραγματοποιήθηκε το 2016 (Polish Geological Survey , 2016).

3.5.1.2. Ουγγαρία

Η Ουγγαρία καλύπτει περισσότερο από το 60% της ζήτησης σε πρωτογενή ενέργεια από εισαγωγές. Το ποσοστό των εισαγωγών πετρελαίου και φ.α. είναι ακόμη υψηλότερο, περισσότερο από 80%, και σήμερα προέρχεται σχεδόν εξ ολοκλήρου από τη Ρωσία. Η μείωση της εγχώριας παραγωγής φ.α. αντισταθμίζεται από τη μείωση της οικιακής κατανάλωσης τα τελευταία χρόνια - 7,5 Bcm φ.α. το 2013 - και από το όφελος της αποθήκευσης φ.α., της τάξης των 6,2 Bcm.

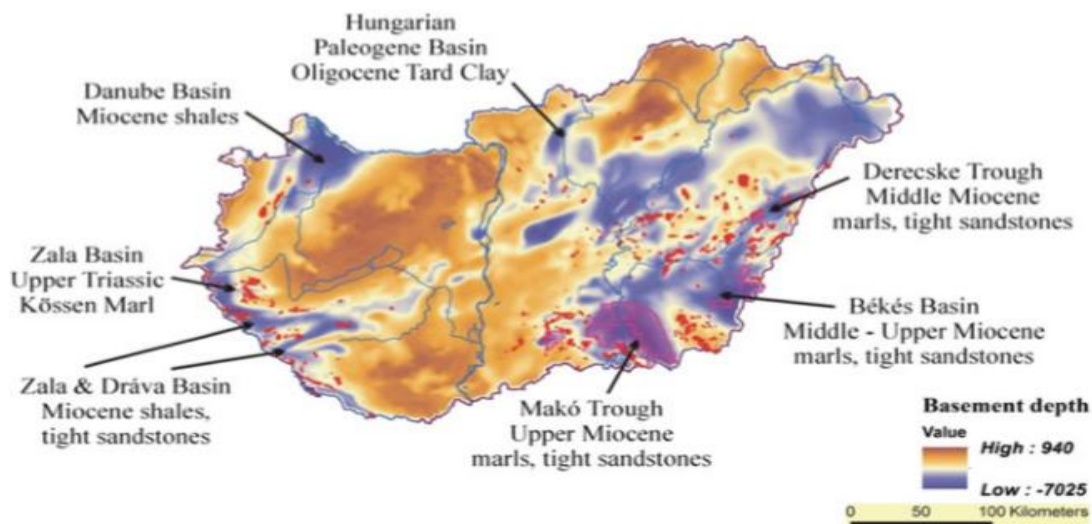
Για την Ουγγαρία, η έρευνα για τον εντοπισμό κοιτασμάτων μη συμβατικού φ.α. αποτελεί μια άκρως σημαντική προτεραιότητα δεδομένου ότι επιδιώκει να μειώσει την ενεργειακή της

εξάρτηση και να αυξήσει την εγχώρια παραγωγή της. Γι' αυτό απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η βελτίωση των τεχνολογιών εξόρυξης και η βελτιστοποίηση του ρυθμιστικού, κοινωνικού και περιβαλλοντικού πλαισίου, στο οποίο η υδραυλική ρωγμάτωση έχει καθοριστικό ρόλο (Zhiltsou, 2017).

Στην Ουγγαρία η έρευνα για σχιστολιθικό αέριο επικεντρώνεται στη λεκάνη Pannonian και ακριβέστερα στην περιοχή Makó Trough, καθώς και στις λεκάνες Békés και Derecske (Εικόνα 3-40). Στόχος της κυβέρνησης της Ουγγαρίας είναι η απεξάρτησή της από το ρωσικό φ.α. και ο ανταγωνισμός της με την Ουκρανία. Η ουγγρική εταιρεία «*TXM Exploration and Production LLC*», με έδρα τη Βουδαπέστη και η θυγατρική της *Falcon Oil & Gas Ltd*, έχει ερευνήσει τα σχιστολιθικά αποθέματα στη Νότια Ουγγαρία, στην περιοχή Makó Trough. Η Ουγγαρία εκτιμά ότι στην περιοχή Makó υπάρχουν 1,2 Bcm σχιστολιθικού αερίου, χωρίς αυτό να έχει εξακριβωθεί με ερευνητικές γεωτρήσεις.

Η άδεια παραγωγής που έχει χορηγηθεί στην εταιρεία *TXM* αφορά ένα μέρος της περιοχής Makó, στα νοτιο-ανατολικά της Ουγγαρίας, καλύπτει 994 km² και εκτείνεται κυρίως στην επαρχία Csongrad (Csongrád megye). Τα κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου εντοπίζονται σε βάθη μεγαλύτερα από τα 3.500-4.000 m στις ιζηματογενείς λεκάνες της χώρας. Τα σύνορα με τη Ρουμανία είναι κοντά στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής της άδειας, ενώ τα σερβικά σύνορα είναι κοντά στο νοτιοδυτικό τμήμα. Η άδεια για την πρώτη ερευνητική γεώτρηση σχιστολιθικού αερίου στην περιοχή Makó χορηγήθηκε το 2013, ενώ η πιο πρόσφατη άδεια, για την όρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων, εκδόθηκε τον Σεπτέμβριο του 2014, βάζοντας ως περιορισμό όμως την μη χρήση της υδραυλικής ρωγμάτωσης.

Ωστόσο, λόγω της αυστηρής στάσης των περιβαλλοντικών αρχών η εταιρεία αποφάσισε να σταματήσει το πρόγραμμα κατά τη διάρκεια της φάσης έρευνας στην περιοχή Makó (Budapest Telegraph, 2017) (Altman, Bitzer, Matra, Weindroff, & Zittel, 2012) (Polish Geological Institute – National Research Institute, 2014).

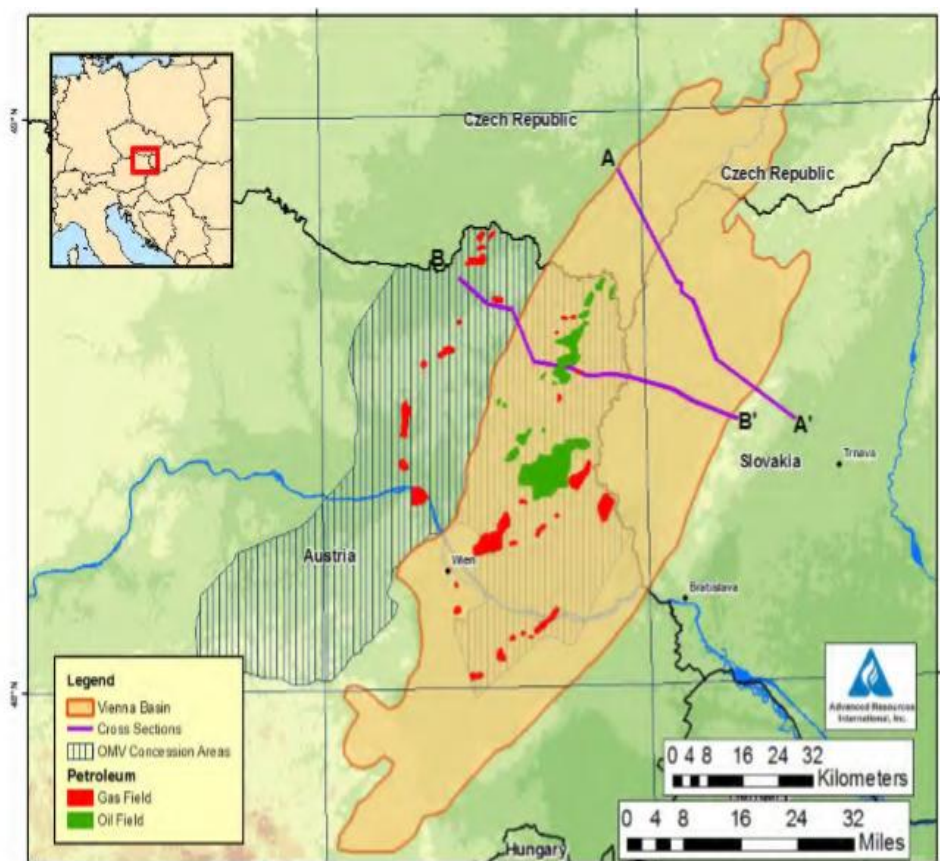


Εικόνα 3-40: Λεκάνες μη συμβατικών υδρογονανθράκων στην Ουγγαρία (Zhiltsov, 2017).

3.5.1.3. Αυστρία

Στην Αυστρία, τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου εκτιμάται ότι συγκεντρώνονται στην Κάτω Αυστρία (Lower Austria) και κυρίως στη λεκάνη Vienna (Εικόνα 3-41). Σύμφωνα με αυστριακούς εμπειρογνώμονες, η χώρα διαθέτει ένα μεγάλο δυναμικό αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου, το οποίο θα μπορούσε να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της Αυστρίας για 30 χρόνια. Στη λεκάνη Vienna, τα ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου εκτιμώνται σε 15 Tcf και τα αρχικά επί τόπου αποθέματα σε 200-300 Tcf (U.S.EIA, 2013).

Η OMV, διεθνής εταιρεία πετρελαίου και φ.α. με έδρα τη Βιέννη, στις αρχές του 2012 σχεδίαζε να ξεκινήσει την έρευνα για σχιστολιθικό αέριο στην Κάτω Αυστρία, προχωρώντας στην όρυξη δύο ερευνητικών γεωτρήσεων. Ωστόσο τα σχέδια της εταιρείας ήρθαν σε σύγκρουση όχι μόνο με κοινωνικές και περιβαλλοντικές ομάδες αλλά και με την κυβέρνηση της χώρας, συμπεριλαμβανομένου του Υπουργού Περιβάλλοντος και την Κυβερνήτη της Κάτω Αυστρίας. Την 2η Μαρτίου του 2012, η OMV ανακοίνωσε ότι θα αναστείλει τα σχέδια των γεωτρήσεων, εν αναμονή της ολοκλήρωσης μιας ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής και κοινωνικής μελέτης από την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Περιβάλλοντος και από την ομάδα «TUV Austria Group», ένα τεχνικό και περιβαλλοντικό συμβούλιο ασφαλείας. Τον Ιούλιο του 2012, η Υπουργός Περιβάλλοντος και Αγροτικών Υποθέσεων ανακοίνωσε τα σχέδιά της για μεταρρύθμιση του νόμου περί εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και για ενσωμάτωση του σχιστολιθικού πετρελαίου και φ.α..



Εικόνα 3-41: Λεκάνη σχιστολιθικού αερίου Vienna στην Αυστρία (EIA/ARI, 2013).

Τελικά, το κόστος παραγωγής, σύμφωνα με λεπτομερή αξιολόγηση που δημοσίευσε η εταιρεία, για κάθε μία προτεινόμενη γεώτρηση σχιστολιθικού αερίου, κρίθηκε αντικοινωνικό και η OMV εγκατέλειψε τα σχέδιά της για έρευνα εντοπισμού σχιστολιθικού αερίου στην Αυστρία. Μέχρι στιγμής, δεν έχει παρατηρηθεί εκ νέου ενδιαφέρον για την έρευνα σχιστολιθικού αερίου στη χώρα, αλλά είναι πολύ πιθανό η ως άνω απόφαση να επανεξεταστεί (Polish Geological Institute – National Research Institute, 2014) (Lehr, Keeley, & Kingery, 2016).

3.5.2. Δυτική Ευρώπη

3.5.2.1. Γερμανία

Στην Γερμανία, τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου συγκεντρώνονται στην μεγάλη λεκάνη της Βόρειας Θάλασσας- Γερμανίας, η οποία εκτείνεται από το Βέλγιο προς τα ανατολικά σύνορα της Γερμανίας, κατά μήκος της ακτής της Βόρειας Θάλασσας (Εικόνα 3-42).

Τα επί τόπου αρχικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, σύμφωνα με την EIA/ARI(2013) εκτιμώνται σε 80 Tcf, με τα 17 Tcf να αποτελούν τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα. Σύμφωνα με το Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Γεωεπιστημών και Φυσικών Πόρων (BGR-

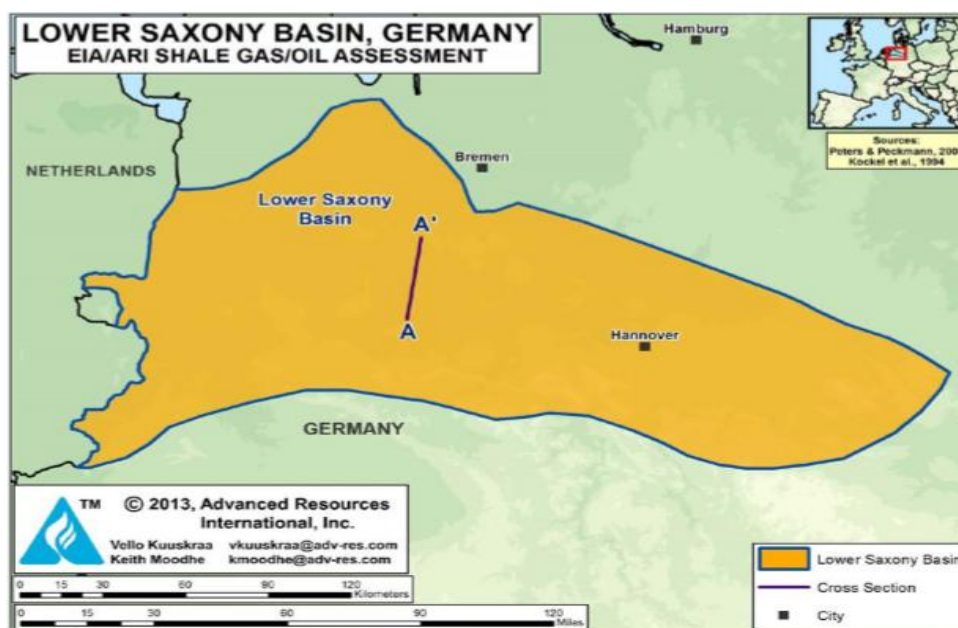
Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Federal Institute for Geosciences and Natural Resources), εκτιμάται ότι τα αρχικά επί τόπου αποθέματα κυμαίνονται μεταξύ 240 και 800 Tcf και τα τεχνικά ανακτήσιμα μεταξύ 24 και 80Tcf. Η τιμή αυτή υπερβαίνει κατά 3-20 φορές τα αποθέματα συμβατικού φ.α. στη Γερμανία και θα επαρκούσε να καλύψει τη ζήτηση της χώρας σε φ.α. για 13 χρόνια ή να διατηρήσει το ποσοστό συμμετοχής του εγχώριου φ.α. στη γερμανική αγορά σε ένα επίπεδο της τάξης του 12% τουλάχιστον (Vetter, 2016).

Στην Γερμανία, περίπου το 70% των ενεργειακών πόρων προέρχεται από τις εισαγωγές. Κύριες εισαγωγές είναι ο λιθάνθρακας (81%), το πετρέλαιο (98%), το φ.α. (90%) και το ουράνιο για την πυρηνική ενέργεια (100%). Μόνο το ένα τέταρτο του ενεργειακού εφοδιασμού προέρχεται από το εσωτερικό της χώρας (περιλαμβάνονται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) (BMW 2012 – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, LBEG 2014- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie).

Λίγο μετά την καταστροφή της Φουκουσίμα το 2011 (σεισμός Tohoku-oki), η Ομοσπονδιακή Κυβέρνηση της Γερμανίας (Federal Government of Germany) προχώρησε στην αναθεώρηση της ενεργειακής πολιτικής [Energiewende] για το σύνολο της χώρας, έχοντας ως στόχο όλα τα εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας στη Γερμανία να κλείσουν μέχρι το 2022. Το σχέδιο αυτό προβλέπεται να αλλάξει δραματικά το ενεργειακό σκηνικό της Γερμανίας, καθώς όλη η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις εγκαταστάσεις πυρηνικής ενέργειας (περίπου το 22% του συνόλου της ακαθάριστης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) θα πρέπει να αντικατασταθεί από άλλες μορφές ενέργειας. Σύμφωνα με την Ομοσπονδιακή Υπουργό Περιβάλλοντος Barbara Hendricks, κατά τη διάρκεια της ομιλίας της στο Βερολίνο στη Διάσκεψη ZEIT, τον Οκτώβριο του 2014, για το φ.α. και την προστασία του κλίματος, η προσοχή της χώρας εστιάζεται στο φ.α. και τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας οι οποίες θα πρέπει να εκλαμβάνονται ως η πιο σημαντική πηγή ενέργειας για τη μετάβαση της χώρας από την πυρηνική.

Οι έρευνες για σχιστολιθικό αέριο επικεντρώνονται στη λεκάνη της Κάτω Σαξονίας της Γερμανίας (Εικόνα 3-42). Στη λεκάνη περιέχονται δύο σχιστολιθικοί σχηματισμοί, οι Posidonia Shale και Wealden Shale (Πίνακας 3-26).



Εικόνα 3-42: Λεκάνη Κάτω Σαξονίας σχιστολιθικού αερίου στη Γερμανία (EIA, 2015).

Πίνακας 3-26: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμούμενα αποθέματα στη λεκάνη της Κάτω Σαξονίας στη Γερμανία (EIA/ARI, 2013).

Basic Data	Basin/Gross Area		Lower Saxony (10,000 mi ²)			
	Shale Formation		Posidonia			Wealden
	Geologic Age		L. Jurassic			L. Cretaceous
	Depositional Environment		Marine			Lacustrine
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		1,590	770	1,390	720
	Thickness (ft)	Organically Rich	100	100	100	112
		Net	90	90	90	75
	Depth (ft)	Interval	6,000 - 10,000	10,000 - 13,000	13,000 - 16,400	3,300 - 10,000
Average		8,000	11,500	14,500	6,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Slightly Overpress.
	Average TOC (wt. %)		8.0%	8.0%	8.0%	4.5%
	Thermal Maturity (% Ro)		0.85%	1.15%	2.00%	0.85%
	Clay Content		Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium	Medium
Resource	Gas Phase		Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Assoc. Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		10.8	44.0	56.5	5.5
	Risked GIP (Tcf)		10.3	20.3	47.1	1.8
	Risked Recoverable (Tcf)		1.0	4.1	11.8	0.1

Αρκετές εταιρείες έχουν δραστηριοποιηθεί στην περιοχή της Κάτω Σαξονίας όπως οι ExxonMobil Production Deutschland GMBH (EMPG), RealmEnergy, BNKPetroleum, ThreeLegsResources. Η εταιρεία ExxonMobil αποτέλεσε την πρώτη εταιρεία που ξεκίνησε την έρευνα για σχιστολιθικό αέριο στην περιοχή το 2008, πραγματοποιώντας δύο δοκιμαστικές γεωτρήσεις και μία ερευνητική γεώτρηση. Ωστόσο η άδεια που είχε χορηγηθεί στην εταιρεία για την όρυξη των παραπάνω γεωτρήσεων ανακλήθηκε λόγω της επιβολής μορατόριουμ στη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης, με αποτέλεσμα να σταματήσει τις εργασίες. Η εταιρεία BNK Petroleum αποφάσισε να εγκαταλείψει πέντε από τις οκτώ

παραχωρήσεις που τις είχαν δοθεί, διατηρώντας μόνο τις τρεις υπολειπόμενες (Adler, Falke, Falke South) στην Βόρεια Ρηρανία- Βεστφαλία.

Η εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου με τη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης προκάλεσε μεγάλη αναταραχή στην κοινή γνώμη, αλλά και στην πολιτική ηγεσία της Γερμανίας. Τον Αύγουστο του 2012, το Ομοσπονδιακό Υπουργείο Περιβάλλοντος, Προστασίας της Φύσης και Πυρηνικής Ασφάλειας (BMU) και η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (UBA) προχώρησαν στη παρουσίαση μελέτης για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου και της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η μελέτη συνιστά ότι η εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου δεν θα επιτρέπεται στις περιοχές με δυσμενείς γεωλογικές συνθήκες και σε περιοχές προστασίας πόσιμων υδάτων, ενώ η υδραυλική ρωγμάτωση δεν πρέπει να απαγορευτεί, αλλά η εφαρμογή της θα επιτρέπεται μόνο με αυστηρές κανονιστικές ρυθμίσεις, ενώ θα πρέπει να συνοδεύεται από την ανάλογη διοικητική και επιστημονική εποπτεία. Τον Σεπτέμβριο του 2013, πραγματοποιήθηκαν βουλευτικές εκλογές στη Γερμανία, επικράτησε η ένωση των δύο κύριων συντηρητικών κομμάτων της Γερμανίας, της Χριστιανοδημοκρατικής Ένωσης της Γερμανίας, CDU, και της Χριστιανοκοινωνικής Ένωσης της Βαυαρίας, CSU, και τον Φεβρουάριο του 2013, η κυβέρνηση συνασπισμού υπό την Άγκελα Μέρκελ συμφώνησε στη θέσπιση ειδικού κανονιστικού σχεδίου που επιτρέπει την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου με τη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης (Zhiltsou, 2017).

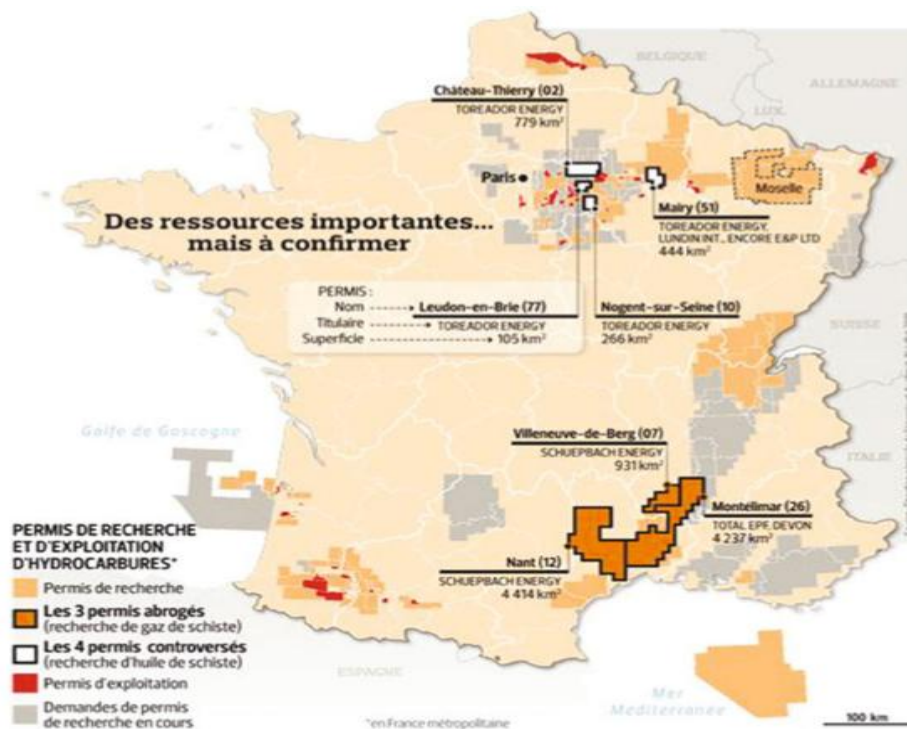
Τέλος, μετά από τέσσερα χρόνια έντονων περιβαλλοντικών και οικονομικών ανησυχιών, τον Ιούνιο του 2016, η κυβέρνηση συνασπισμού της Γερμανίας συμφώνησε να λάβει την απόφαση της απαγόρευσης εφαρμογής της υδραυλικής ρωγμάτωσης για την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου, εξαιτίας της έντονης ανησυχίας των πολιτών για τις δυνητικές επιπτώσεις της στο πόσιμο νερό (The guardian, 2016). Η νομοθεσία απαγόρευσε μεν την εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης, αλλά επέτρεψε την όρυξη δοκιμαστικών γεωτρήσεων, αφού υπόκεινται στην έγκριση της εκάστοτε πολιτειακής κυβέρνησης. Η απαγόρευση αναμένεται να επανεξεταστεί σε πέντε χρόνια (Shale Gas International, 2016) (Deutsche Welle, 2016).

Μία πρόσφατη μελέτη από το Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Γεωεπιστημών και Φυσικών Πόρων (BGR) υποστήριξε ότι είναι δυνατό να αξιοποιηθούν τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου της Γερμανίας χωρίς να προκληθεί βλάβη στις υπόγειες δεξαμενές πόσιμου νερού.

Μετά από την εισήγηση για απαγόρευση της υδραυλικής ρωγμάτωσης από την κυβέρνηση της Γερμανίας, η εταιρεία Wintershall Holding GMBH εγκατέλειψε τα σχέδιά της για περαιτέρω έρευνα σχιστολιθικού αερίου σε δύο πεδία της στα δυτικά της χώρας. Η εταιρεία είχε προγραμματίσει να ανακτήσει δείγματα πετρωμάτων από ένα μέγιστο βάθος 300m χωρίς να απαιτείται η όρυξη βαθιών γεωτρήσεων και η εφαρμογή υδραυλικής ρωγμάτωσης. Ωστόσο, η περιφερειακή κυβέρνηση της Arnsberg απέρριψε την αίτηση για την ανανέωση των αδειών στα πεδία Ruhr και Rheinland, τα οποία βρίσκονται στη Βόρεια Ρηνανία - Βεστφαλία (Oil&GasJournal, 2017).

3.5.2.2. Γαλλία

Η Γαλλία αναμενόταν να είναι μία από τις πρώτες χώρες στην Ευρώπη που θα παράγει σχιστολιθικό αέριο σε εμπορικές ποσότητες, καθώς τα αποθέματά της είναι εξίσου σημαντικά με αυτά της Πολωνίας. Η Γαλλία κατατάσσεται στη δεύτερη θέση στην Ευρώπη, ως χώρα με τα μεγαλύτερα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, μετά την Πολωνία. Τα αρχικά επί τόπου αποθέματά της εκτιμώνται σε 727 Tcf, εκ των οποίων τα 180 Tcf θεωρούνται ως τεχνικώς ανακτήσιμα. Το παραπάνω δυναμικό αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου συγκεντρώνεται σε δύο λεκάνες: τη λεκάνη του Παρισιού και τη Νοτιοανατολική λεκάνη (Εικόνα 3-43). Η τελευταία θεωρείται ότι διαθέτει τις μεγαλύτερες προοπτικές, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε άργιλο (Πίνακας 3-27).



Εικόνα 3-43: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Γαλλία (Nodé-Langlois, 2011).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Πίνακας 3-27: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμούμενα αποθέματα στη λεκάνη του Παρισιού στη Γαλλία (ΕΙΑ, 2013).

Basic Data	Basin/Gross Area		Paris (61,000 mi ²)			
	Shale Formation		Lias Shale	Permian-Carboniferous		
	Geologic Age		L. Jurassic	Permian-Carboniferous		
	Depositional Environment		Marine	Lacustrine		
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		5,670	11,960	17,940	17,940
	Thickness (ft)	Organically Rich	350	400	250	500
		Net	105	160	83	100
	Depth (ft)	Interval	4,000 - 10,000	6,000 - 8,000	9,000 - 11,000	12,000 - 16,400
Average		7,000	7,000	10,000	14,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Normal	Normal	Normal	Normal
	Average TOC (wt. %)		4.5%	9.0%	9.0%	9.0%
	Thermal Maturity (% Ro)		0.85%	0.85%	1.15%	1.60%
	Clay Content		Medium	Medium	Medium	Medium
Resource	Gas Phase		Assoc. Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		8.4	12.8	46.2	61.3
	Risked GIP (Tcf)		23.8	48.9	265.1	352.0
	Risked Recoverable (Tcf)		1.9	3.9	53.0	70.4

Η λεκάνη του Παρισιού, έκτασης 65.000 τετραγωνικών μιλίων, περιλαμβάνει δύο σχιστολιθικούς σχηματισμούς: τους Lias Shale και Permian-Carboniferous Shale, με επί τόπου αρχικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου 303 Tcf και 76 Tcf τεχνικά ανακτήσιμα. Η Νοτιοανατολική λεκάνη, έκτασης 54.000 τετραγωνικών μιλίων, περιλαμβάνει τους σχηματισμούς Terres Noires και Liassic με επί τόπου αρχικά αποθέματα 417 Tcf και 104 Tcf τεχνικά ανακτήσιμα (ΕΙΑ, 2013).

Η γαλλική κυβέρνηση είχε εκδώσει τρεις άδειες για την όρυξη γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου στη Νοτιοανατολική λεκάνη, αλλά τον Φεβρουάριο του 2011, ενόψει της έντονης δημόσιας αντίδρασης σχετικά με τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδραυλικής ρωγμάτωσης, η κυβέρνηση ανακοίνωσε μορατόριουμ για τη χρήση της και στη συνέχεια αναγκάστηκε να την απαγορεύσει. Οι άδειες όρυξης ερευνητικών γεωτρήσεων που είχαν δοθεί σε δύο εταιρείες, τη γαλλική Total και την αμερικανική Schuepbach Energy, ανακλήθηκαν.

Την 14η Ιουλίου 2011, ψηφίστηκε νόμος απαγόρευσης της εφαρμογής της υδραυλικής ρωγμάτωσης (νόμος 2011-835). Μετά τις προεδρικές εκλογές, την άνοιξη του 2012, ο νέος πρόεδρος, François Hollande, οργάνωσε πανευρωπαϊκή εκστρατεία μεγάλης κλίμακας ευαισθητοποίησης των πολιτών για το γαλλικό όραμα της ενεργειακής μετάβασης. Τον Σεπτέμβριο του 2012, ο François Hollande δήλωσε ότι ένα από τα κύρια σημεία του νέου κυβερνητικού σχεδίου που προτείνει είναι η μείωση κατά 50% του ηλεκτρισμού που προέρχεται από την πυρηνική ενέργεια έως το 2025 και η ισχυρή ανάπτυξη των

ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ωστόσο, η γαλλική κυβέρνηση διεπόταν από αβεβαιότητα για το θέμα του σχιστολιθικού αερίου καθώς, τον Ιανουάριο του 2012 ο Υπουργός Οικονομικών Arnaud Montebourg δήλωσε: «Δεν αποδεχόμαστε την υδραυλική ρωγμάτωση, αλλά εργαζόμαστε πάνω στην εύρεση νέων τεχνολογιών που θα επέτρεπαν την εξόρυξη χωρίς ζημιές». Σημειωτέον, δύο έκτακτες συναντήσεις σχετικά με το σχιστολιθικό αέριο έλαβαν χώρα κατά το τέλος του εθνικού debate για την ενεργειακή μετάβαση της Γαλλίας: η πρώτη την 27η Ιουνίου 2013, δίνοντας την εικόνα των τρεχουσών τιμών της ενέργειας και του αντίκτυπου που έχει το σχιστολιθικό αέριο στις παγκόσμιες αγορές, ενώ η δεύτερη αφορούσε αποκλειστικά το σχιστολιθικό αέριο. Σε δήλωσή του στα μέσα μαζικής ενημέρωσης ο Υπουργός Οικονομικών Arnaud Montebourg υποστήριξε την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου, προτείνοντας ως εναλλακτική λύση την διέγερση με προπάνιο αντί της υδραυλικής ρωγμάτωσης, καθώς δεν απαιτεί νερό ούτε χημικά πρόσθετα, βάσει μελέτης που εκπονήθηκε από τον ίδιο και ολοκληρώθηκε το 2014. Ωστόσο ο Πρόεδρος Hollande επιβεβαίωσε επανειλημμένα ότι το σχιστολιθικό αέριο δεν θα αξιοποιηθεί κατά τη διάρκεια της θητείας του.

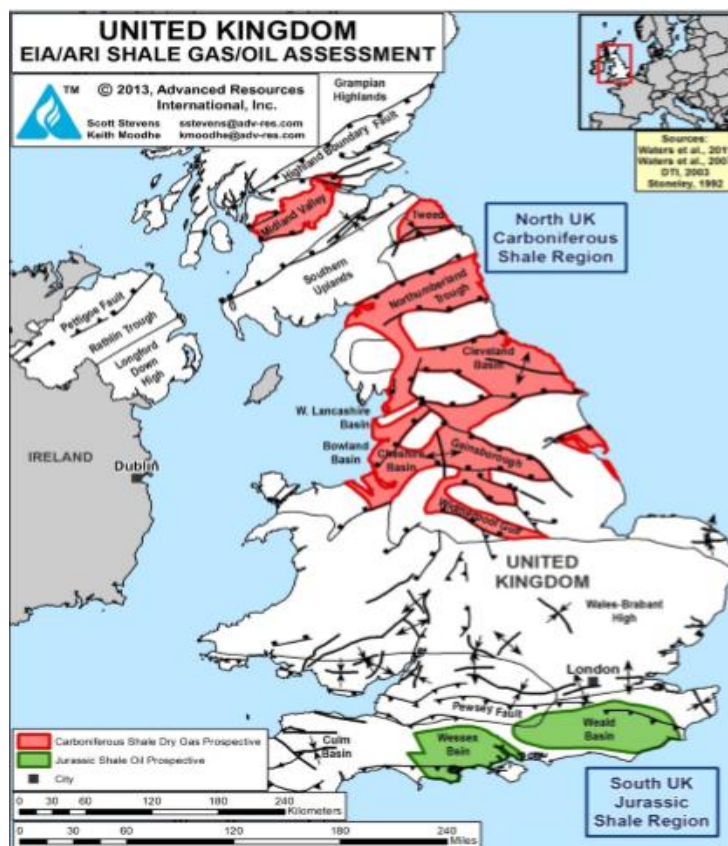
Τον Μάρτιο του 2014, ο τότε πρόεδρος των Η.Π.Α., Obama, προέτρεψε την Ευρωπαϊκή Ένωση να μειώσει την ενεργειακή της εξάρτηση και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ψήφισε υπέρ της εξαίρεσης του σχιστολιθικού αερίου από τη μελέτη αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Μέχρι και σήμερα, η προοπτική ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου στη Γαλλία, παρά το μεγάλο δυναμικό των αποθεμάτων της φαίνεται ουτοπική (Wang & Hefley, 2016) (Shale Gas Information Platform, 2014).

3.5.2.3. Ηνωμένο Βασίλειο

Το Ηνωμένο Βασίλειο διαθέτει σημαντικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, τα οποία κατανέμονται στο βορειοδυτικό τμήμα του, στο Ανατολικό Μίντλαντς, στο Σάσεξ, το Ουέσεξ, την Ουαλία και την Σκωτία. Στο Ηνωμένο Βασίλειο απαντώνται δύο κύρια πετρελαϊκά συστήματα: το Βόρειο πετρελαϊκό σύστημα το οποίο περιλαμβάνει τον σχιστολιθικό σχηματισμό Carboniferous Shale και εκτείνεται από το μέτωπο Variscan στην κεντρική Αγγλία συνεχίζοντας βόρεια διαμέσου της Σκωτίας και το Νότιο σύστημα το οποίο περιλαμβάνει τον σχιστολιθικό σχηματισμό Jurassic Shale και το οποίο βρίσκεται μεταξύ του μετώπου Variscan και του Αγγλικού Καναλιού – Θάλασσα της Μάγχης στην Αγγλία και την Ουαλία.

Σύμφωνα με έκθεση που δημοσίευσε η ΕΙΑ τον Ιούνιο του 2013, το Ηνωμένο Βασίλειο εκτιμάται ότι διαθέτει 26 Tcf τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου. Το Βρετανικό Ινστιτούτο Γεωλογικών Ερευνών (British Geological Survey - BGS) σε συνεργασία με την Αρχή Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου (Oil & Gas Authority - OGA) ολοκλήρωσε το 2013 μελέτη σχετικά με τα σχιστολιθικά αποθέματα της χώρας. Σύμφωνα με αυτή τα αρχικά επί τόπου αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στον σχηματισμό Carboniferous Bowland Shale στην Κεντρική Βρετανία κυμαίνονται μεταξύ 822 και 2281 Tcf, με την κύρια εκτίμηση να ανέρχεται στα 1329 Tcf (British Geological Survey, 2013). Τον Ιούνιο του 2014, η BGS δημοσίευσε περαιτέρω μελέτες για τα εκτιμώμενα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στην Ουαλία και την Κοιλάδα Midland της Σκωτίας (British Geological Survey-National Environment Research Council, 2012).

Η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου στο Ηνωμένο Βασίλειο δεν αποτελούσε προτεραιότητα για τα δύο πρώτα χρόνια της κυβέρνησης συνασπισμού των Συντηρητικών – Φιλελευθέρων Δημοκρατικών, με επικεφαλής τον πρωθυπουργό David Cameron. Η εταιρεία *Couadrilla Resources* ξεκίνησε την όρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου τον Αύγουστο του 2010. Τον Σεπτέμβριο του 2011, η *Couadrilla* εκτίμησε ότι ο σχιστολιθικός σχηματισμός Bowland διαθέτει 5,7 Tcm φ.α. Τον Ιούνιο του 2011 - έτος κατά το οποίο η γαλλική κυβέρνηση απαγόρευσε την υδραυλική ρωγμάτωση - η κυβέρνηση του



Εικόνα 3-44: Περιοχές σχιστολιθικού αερίου στο Ηνωμένο Βασίλειο (ΕΙΑ, 2015).

Ηνωμένου Βασιλείου επέβαλε μορατόριουμ στην εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης μετά την όρυξη των πρώτων δοκιμαστικών γεωτρήσεων από την εταιρεία *Couadrilla Resources* κοντά στο Blackpool, οι οποίες αποτέλεσαν πιθανή αιτία για την πρόκληση σεισμού μεγέθους 2,3 ρίχτερ.

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Ωστόσο, τον Ιούνιο του 2012, δημοσιεύτηκε κοινή έκθεση από τις Royal Society και Royal Academy of Engineering, σύμφωνα με την οποία *«οι κίνδυνοι που σχετίζονται με την υδραυλική ρωγμάτωση μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά στο Ηνωμένο Βασίλειο, μέσω της εφαρμογής αποτελεσματικών ρυθμίσεων»*. Το Υπουργείο Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (DECC) ανέφερε ότι οι εκπομπές που σχετίζονται με το σχιστολιθικό αέριο είναι παρόμοιες με εκείνες του συμβατικού φ.α. και χαμηλότερες από αυτές του άνθρακα και του LNG, γεγονός που οδήγησε στο να περιγράψει το σχιστολιθικό αέριο ως τη «γέφυρα» προς ένα μέλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Την 13η Δεκεμβρίου 2012, η βρετανική κυβέρνηση ανακοίνωσε το τέλος του μορατόριουμ που είχε επιβληθεί, ενώ ο Υπουργός Ενέργειας Ed Davey δήλωσε ότι *«η έρευνα του σχιστολιθικού αερίου στη Βρετανία θα μπορούσε να ξαναρχίσει με την εφαρμογή νέων μέτρων τα οποία θα αποσκοπούν στη μείωση του κινδύνου σεισμικής δραστηριότητας»*.

Τον Μάιο του 2013, ο Υπουργός Ενέργειας Michael Fallon ενημέρωσε τη Βουλή των Κοινοτήτων (House of Commons) ότι η κυβέρνηση προωθεί με έντονο τρόπο την ανάπτυξη σχιστολιθικού αερίου και έχει εγκρίνει περισσότερες από 300 άδειες για έρευνα σχιστολιθικού πετρελαίου και συμβατικού φ.α. από την άρση του μορατόριουμ (Wang&Hefley, 2016).

Μια σειρά από εταιρείες φ.α. στο Ηνωμένο Βασίλειο, όπως οι : Cuadrilla Resources, Igas Energy, Coastal Oil and Gas Ltd., Celtique Energie, Dart Energy, και Eden Energy, έχουν ήδη επενδύσει στην έρευνα σχιστολιθικού αερίου, αλλά η ανάπτυξή του ακολουθεί μέχρι στιγμής αργό ρυθμό. Μεταξύ 2011 και 2014 πραγματοποιήθηκε η όρυξη τριών γεωτρήσεων, ενώ μόνο σε μία από αυτές εφαρμόστηκε υδραυλική ρωγμάτωση. Αυτό οφειλόταν σε μεγάλο βαθμό στο πολύπλοκο σύστημα αδειοδότησης στο Ηνωμένο Βασίλειο, το οποίο απαιτούσε από τους φορείς εκμετάλλευσης να υποβάλλουν αιτήσεις χορήγησης άδειας σε πολλούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων του Υπουργείου Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, του Οργανισμού Περιβάλλοντος και διαφόρων τοπικών αρχών (Cooper, Dr.Stamford, &Prof.Azapagic, 2014).

Η Βρετανική Κυβέρνηση, υποστηρίζοντας θερμά την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου, πρότεινε τον εκσυγχρονισμό του καθεστώτος της υπόγειας διάνοιξης και τη διευκόλυνση των εταιρειών για την όρυξη γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου, μέσω ενός νέου νομοσχεδίου. Το εν λόγω νομοσχέδιο ψηφίστηκε και τέθηκε σε εφαρμογή την 12^η Φεβρουαρίου 2015. Κατά την ψήφιση του νομοσχεδίου, η κυβέρνηση αναγκάστηκε να δεχθεί μια σειρά τροπολογιών που καθιστούσαν αυστηρότερες τις κανονιστικές ρυθμίσεις

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

σχετικά με την μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης, ενώ απαγόρευσε την εφαρμογή της σε Εθνικά Πάρκα, Περιοχές Εξαιρετικής Φυσικής Ομορφιάς και Τοποθεσίες Ειδικού Επιστημονικού Ενδιαφέροντος. Ωστόσο, λίγες μέρες μετά την ψήφιση του νομοσχεδίου, η κυβέρνηση της Σκωτίας ανακοίνωσε μορατόριουμ σε όλες τις συμφωνίες όρυξης γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου, μέχρι η κυβέρνηση να πραγματοποιήσει πλήρη δημόσια διαβούλευση. Ακολούθως, η ουαλική κυβέρνηση επέβαλε μορατόριουμ στην υδραυλική ρωγμάτωση ώσπου να αποδειχθεί ασφαλής για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον (Norton Rose Fullbright, 2015).

Παράλληλα, η πολιτική αντίθεση στην ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου στη Βρετανία μπορεί να είναι μεγαλύτερη από αυτή στην Πολωνία και μικρότερη από τη Γαλλία και την Γερμανία, αλλά αυξάνεται συνεχώς με την πρόκληση διαμαρτυριών και αναταραχών σε περιοχές της Αγγλίας και ειδικότερα στο Lancashire. Δημοσκόπηση που εκτελέστηκε από την YouGov στα μέσα Μαΐου 2015 αποκάλυψε ότι η υποστήριξη για την εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου είχε πέσει από το ποσοστό του 44% στο 32% τους τελευταίους δεκαοχτώ μήνες, ενώ ο αριθμός αυτών που αντιτίθεται στο σχιστολιθικό αέριο έχει αυξηθεί από 29% σε 43% (Evans, 2015).

Τον Μάιο του 2016, το Συμβούλιο της Κομητείας του Βόρειου Γιorkσάιρ (North Yorkshire) χορήγησε άδεια στην εταιρεία Third Energy για την εφαρμογή υδραυλικής ρωγμάτωσης σε ήδη ορυχθείσα γεώτρηση, βάθους δύο μιλίων, στο Kirby Misperton, αψηφώντας τις 4.000 ενστάσεις κατά του σχεδίου που κατατέθηκαν από τους κάτοικους της περιοχής. Το τοπικό κίνημα των πολιτών, Friends of the Earth and Frack Free Ryedale, ζήτησε την επανεξέταση της δικαστικής απόφασης του Συμβουλίου, καθώς υποστήριζε ότι το Συμβούλιο αξιολογικά προτίμησε την οικονομική ανάπτυξη έναντι της προστασίας του περιβάλλοντος. Το ανώτατο δικαστήριο αποφάσισε την 20^η Δεκεμβρίου 2016 ότι η απόφαση του Συμβουλίου ήταν νόμιμη, δίνοντας τέλος στις προσπάθειες του κινήματος «anti-fracking».

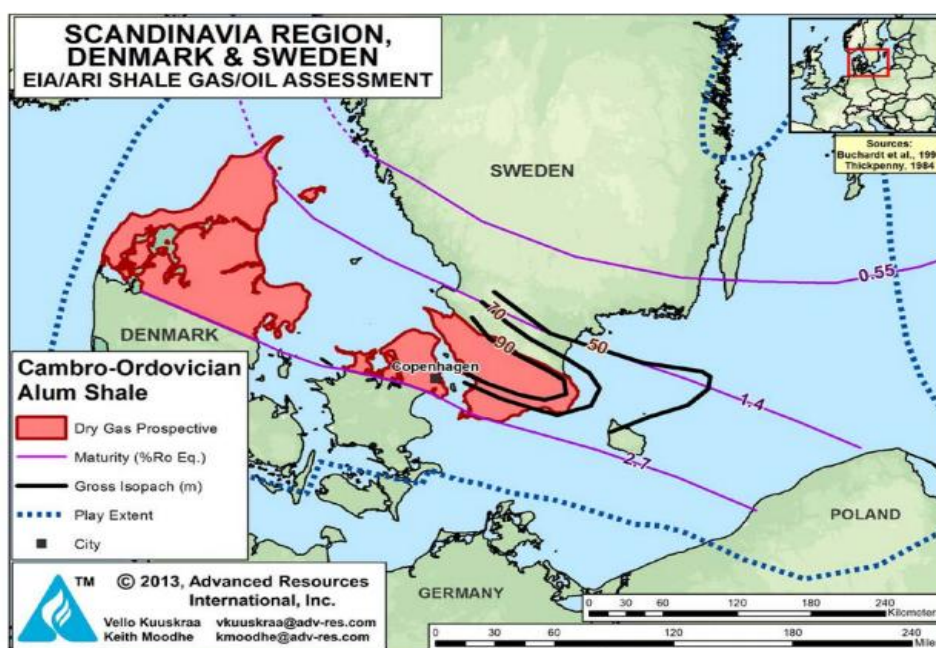
Τον Ιούνιο του 2015, το Συμβούλιο της Κομητείας του Lancashire απέρριψε δύο αιτήσεις από την εταιρεία Cuadrilla για όρυξη γεώτρησης σχιστολιθικού αερίου σε δύο περιοχές κοντά στο Blackpool. Ωστόσο η προσφυγή της εταιρείας κατά της απορριπτικής απόφασης του Συμβουλίου έγινε δεκτή από τον Υπουργό Κοινοτήτων και Τοπικής Αυτοδιοίκησης την 6^η Οκτωβρίου του 2016. Στην εταιρεία χορηγήθηκε άδεια μόνο για μία από τις δύο περιοχές, την Preston New Road. Η απόφαση αυτή και πάλι προξένησε διαμαρτυρίες κατά της υδραυλικής ρωγμάτωσης και η ομάδα δράσης Preston New Road Action -PNRAG ζήτησε δικαστικό έλεγχο της απόφασης του Υπουργού Εξωτερικών με την αιτιολογία ότι δεν ήταν

«ούτε δίκαιη, ούτε νόμιμη», αλλά την 12^η Απριλίου 2017 το Ανώτατο Δικαστήριο απέρριψε το αίτημά τους (Delebarre, Ares, & Smith, 2017).

Τέλος, η νέα πρωθυπουργός του Ηνωμένου Βασιλείου, Theresa May, που διαδέχτηκε τον David Cameron τον Ιούλιο του 2016, υποστήριξε τη σημασία της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας από το σχιστολιθικό αέριο, καθιστώντας την ανάπτυξη του ζωτικής σημασίας. Το Brexit θα μπορούσε να αποτελέσει την κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου στο Ηνωμένο Βασίλειο, καθώς η υποτίμηση της βρετανικής λίρας κατέστησε πιο δαπανηρή την εισαγωγή φ.α. στη χώρα, ενώ η ίδια θα προσπαθήσει να τονώσει την εθνική οικονομία με την στροφή στις εγχώριες πηγές ενέργειας. «Μια ανεξάρτητη Βρετανία χρειάζεται μία ανεξάρτητη πηγή ενέργειας» δήλωσε ο διευθύνων σύμβουλος της εταιρείας IGas, Stephen Bowler (Reuters, 2016).

3.5.3. Βόρεια Ευρώπη

Στις Σκανδιναβικές χώρες το σχιστολιθικό αέριο εντοπίζεται στον σχηματισμό Alum, ο οποίος εκτείνεται από τη Νορβηγία έως την Εσθονία και, νότια, από τη Γερμανία έως την Πολωνία. Το μεγαλύτερο μέρος του σχιστολιθικού αερίου συγκεντρώνεται στη Σουηδία και τη Δανία, ενώ μικρή ποσότητα υπάρχει και στη Νορβηγία (Εικόνα 3-45). Η ARI έχει εντοπίσει περιοχή του σχηματισμού έκτασης 8.100 τετραγωνικών μιλίων, στην οποία ο σχιστόλιθος εντοπίζεται σε βάθος 3.300 ft και τα δεδομένα θερμικής ωριμότητας υποδεικνύουν ότι ο σχιστόλιθος βρίσκεται στο «παράθυρο αερίου».



Εικόνα 3-45: Ο σχιστολιθικός σχηματισμός Alum στη Δανία και τη Σουηδία (EIA/ARI, 2013).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Εκτιμάται ότι ο σχηματισμός διαθέτει 589 Tcf αρχικά επί τόπου αποθέματα σχιστολιθικού αερίου με τα 147 Tcf να θεωρούνται ως τεχνικά ανακτήσιμα.

3.5.3.1. Σουηδία

Στην Σουηδία ο ενεργειακός εφοδιασμός στηρίζεται παραδοσιακά στην πυρηνική ενέργεια και την υδροηλεκτρική ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες προκαλούν πολύ χαμηλές εκπομπές CO₂. Διαθέτει ένα μεγάλο δυναμικό αποθεμάτων για την παραγωγή μη ορυκτών καυσίμων και ανανεώσιμης ενέργειας όπως η βιομάζα. Η ζήτηση της χώρας σε φ.α. είναι αρκετά χαμηλή, όπως και το ποσοστό των εισαγωγών φ.α., ενώ σημειωτέον δεν διαθέτει εκτεταμένη υποδομή δικτύου αγωγών φ.α.. Ο ενεργειακός εφοδιασμός της χώρας αποτελεί μόνο το 3% στο μερίδιο του φ.α..

Παρόλο που η Σουηδία είναι γνωστή για την σχετικά υψηλή κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη, οι σύμβουλοι για την ενεργειακή μηχανική DNV σημειώνουν ότι «η ανάγκη για ανάπτυξη μη συμβατικού φ.α. είναι κάπως περιορισμένη σε μια χώρα με αυτόν τον τύπο ενεργειακού μίγματος» (Becker & Werner, 2014).

Η Σουηδία εκτιμάται ότι διαθέτει 49 Tcf αρχικά επί τόπου αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, με τα 10 Tcf να θεωρούνται ως τεχνικά ανακτήσιμα. Ο σχηματισμός Alum καταλαμβάνει έκταση 2.120 τετραγωνικών μιλίων στη Νότια Σουηδία.

Η εταιρεία Shell Oil, μεταξύ 2008 και 2011, όρυξε τρεις γεωτρήσεις για σχιστολιθικό αέριο στην περιοχή Skane της Νότιας Σουηδίας, αλλά το εγχείρημα χαρακτηρίστηκε ως αντισυμβατικό και σταμάτησε το 2011. Μια σειρά από άλλες εταιρείες, όπως οι Gripen Gas, Energigas Östergötland and Tekniska Verken εκτελούν έρευνες για σχιστολιθικό αέριο στη νότια-κεντρική Σουηδία. Ωστόσο, οι ποσότητες των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου στην περιοχή αναμένεται να είναι μικρές και μικρής εμπορικής σημασίας.

Η σουηδική κυβέρνηση δεν έχει λάβει αποφάσεις για την απαγόρευση της εκμετάλλευσης του σχιστολιθικού αερίου και προς το παρόν δεν προβλέπεται να θεσπιστεί νέα νομοθεσία για το εν λόγω θέμα (Bird&Bird, 2013) (EIA, 2015).

3.5.3.2. Δανία

Η Δανία αν και διαθέτει μικρές ποσότητες σχιστολιθικού αερίου, αποτελεί εξαγωγέα πετρελαίου και φ.α. από τη Βόρεια Θάλασσα. Η Δανία, εξαιτίας της συνεχούς πτώσης των αποθεμάτων της σε φ.α., μετατρέπει τις συμβατικές ενεργειακές πηγές σε ανανεώσιμες. Η Δανία είναι ένας από τους ηγέτες στην αιολική ενέργεια παγκοσμίως, διαθέτοντας τόσο την

μεγαλύτερη κατασκευάστρια εταιρεία ανεμογεννητριών παγκοσμίως, όσο και την μεγαλύτερη εταιρεία υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στον κόσμο. Η αιολική ενέργεια αντιπροσωπεύει πάνω από το 30% της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια και η χώρα αναμένεται να καλύπτει τις ενεργειακές της ανάγκες της αποκλειστικά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έως το 2050. Το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει το 50% ήδη από το 2030 και ένα σημαντικό κομμάτι των νέων εγκαταστάσεων θα κατασκευαστεί χωρίς επιδοτήσεις. Ο αιώτερος στόχος της Δανίας είναι να έχει 100% ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στους τομείς της ενέργειας και των μεταφορών μέχρι το 2050 (Becker&Werner, 2014).

Στη Δανία, ο σχηματισμός Alum καλύπτει έκταση των 5.980 τετραγωνικών μιλίων, ενώ η ΕΙΑ εκτιμά ότι τα αρχικά επί τόπου αποθέματά της σε σχιστολιθικό αέριο είναι 159 Tcf, με τα 32 Tcf να θεωρούνται ως τεχνικά ανακτήσιμα. Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη που ολοκληρώθηκε το 2014 από την Αμερικανική Γεωλογική Έρευνα και τις Εθνικές Γεωλογικές Έρευνες της Δανίας και της Γροιλανδίας (GEUS), υπολογίστηκε ότι η Δανία διαθέτει 71 Bcm σχιστολιθικού αερίου. Το 2010, η κυβέρνηση της Δανίας χορήγησε δύο άδειες στη γαλλική ενεργειακή εταιρεία Total για έρευνα σχιστολιθικού αερίου στις περιοχές Norddjylland στην Northern Jutland και στο νησί Nordsjaelland, στην Βόρεια Ζηλανδία (Northern Zealand) (Εικόνα 3-46).



Εικόνα 3-46: Περιοχές έρευνας σχιστολιθικού αερίου στην Δανία από την εταιρεία TOTAL (TOTAL, 2013).

Ωστόσο τον Ιούνιο του 2016, η Total αποφάσισε να εγκαταλείψει τα σχέδια έρευνας σχιστολιθικού αερίου στη Δανία και παραχώρησε στη δανική κυβέρνηση τις άδειες εκμετάλλευσης που τις είχαν δοθεί, λόγω των απογοητευτικών αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων και της έντονης αντίθεσης των πολιτών. Ο Υπουργός Ενέργειας της Δανίας ανέφερε σε δήλωσή του ότι «η ποσότητα του σχιστολιθικού αερίου δεν επαρκεί για εμπορική αξιοποίηση» (The Local, 2016).

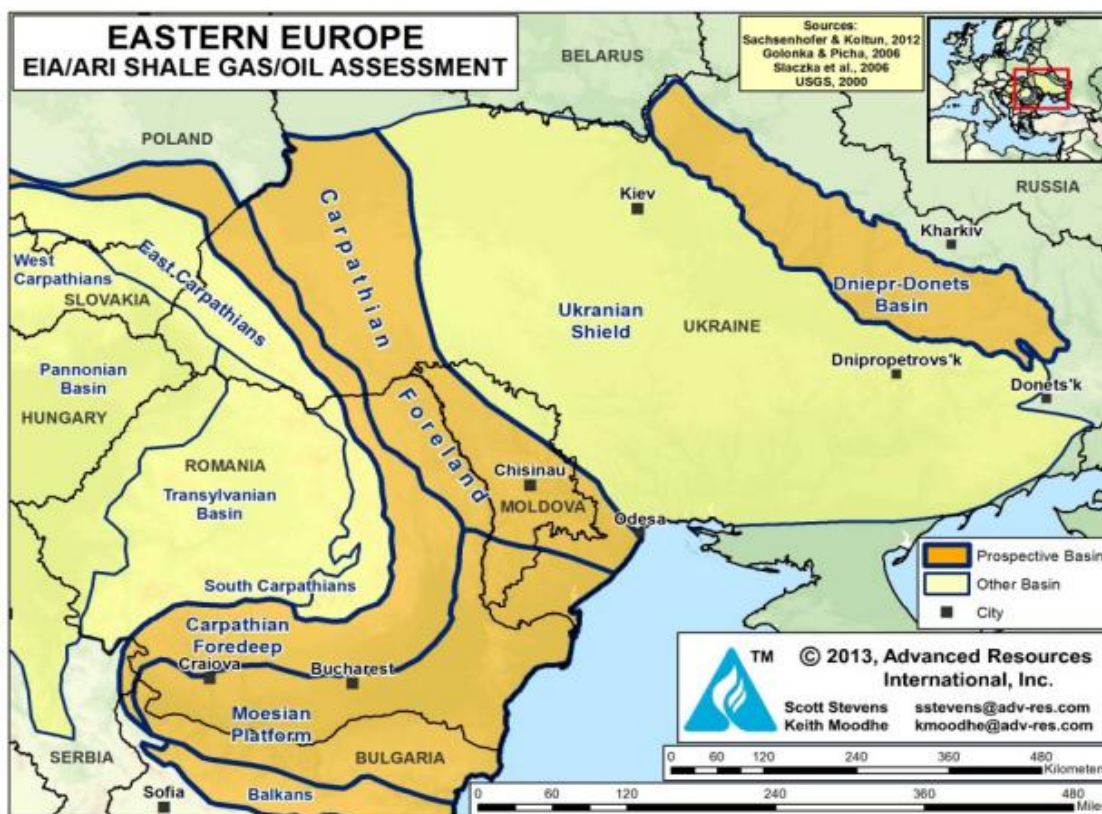
Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

3.5.3.3. Νορβηγία

Η Νορβηγία αποτελεί σημαντικό παράγοντα στις διεθνείς ενεργειακές αγορές, καθώς διαθέτει μεγάλα αποθέματα συμβατικού φ.α., προερχόμενα κυρίως από τη Βόρεια Θάλασσα. Καταναλώνει μόνο το 10% του πετρελαίου που παράγει και ελάχιστο φ.α., γεγονός που την καθιστά τον τρίτο μεγαλύτερο εξαγωγέα φ.α. στον κόσμο και τον δέκατο μεγαλύτερο εξαγωγέα πετρελαίου (Norwegian Institute of International Affairs, 2015). Τα ανακτώσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου από τον σχιστολιθικό σχηματισμό Alum στη Νορβηγία εκτιμώνται σε 83 Tcf, διπλασιάζοντας τα αποθέματα φ.α. της χώρας (EIA/ARI, 2013).

3.5.4. Ανατολική Ευρώπη

Στην Ανατολική Ευρώπη, η έρευνα για σχιστολιθικό αέριο επικεντρώνεται κυρίως σε τρεις χώρες: τη Βουλγαρία, την Ουκρανία και τη Ρουμανία. Σύμφωνα με την EIA, το συνολικό δυναμικό των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 195 Tcf. Κατανέμεται δε σε τρεις λεκάνες: την Dnieper-Donets Basin με 76 Tcf τεχνικά ανακτώσιμα αποθέματα, την Carpathian Foreland Basin με 73 Tcf τεχνικά ανακτώσιμα αποθέματα, και την Moesian Platform με 47 Tcf τεχνικά ανακτώσιμα αποθέματα (Εικόνα 3-47 και Πίνακας 3-28).



Εικόνα 3-47: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Ανατολική Ευρώπη (EIA, 2015).

Πίνακας 3-28: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμούμενα αποθέματα στην Ανατολική Ευρώπη (EIA/ARI, 2013)

Basic Data	Basin/Gross Area	Carpathian Foreland (70,000 mi ²)	Dniepr-Donets (23,200 mi ²)			Moesian Platform (45,000 mi ²)			
	Shale Formation	L. Silurian	L. Carboniferous			L. Silurian		Etrropole	
	Geologic Age	L. Silurian	L. Carboniferous			L. Silurian		L. Jurassic	
	Depositional Environment	Marine	Marine			Marine		Marine	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)	16,080	1,460	2,680	6,010	840	760	7,940	
	Thickness (ft)	Organically Rich	1,000	700	700	700	600	600	650
		Net	400	350	350	350	450	450	260
	Depth (ft)	Interval	3,300 - 16,400	3,300 - 16,400	3,300 - 16,400	3,300 - 16,400	6,600 - 16,400	13,000 - 16,400	5,000 - 16,400
Average		10,000	11,000	12,000	13,000	11,000	14,000	10,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure	Normal	Normal	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Normal	Normal	Highly Overpress.	
	Average TOC (wt. %)	2.0%	4.5%	4.5%	4.5%	3.0%	3.0%	3.0%	
	Thermal Maturity (% Ro)	2.50%	0.90%	1.15%	2.00%	1.15%	2.00%	1.15%	
	Clay Content	Medium	Low	Low	Low	Medium	Medium	Medium	
Resource	Gas Phase	Dry Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Wet Gas	Dry Gas	Wet Gas	
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)	112.7	49.2	118.5	195.2	121.9	154.4	106.7	
	Risked GIP (Tcf)	362.5	14.4	63.5	234.6	22.5	25.8	148.2	
	Risked Recoverable (Tcf)	72.5	1.4	15.9	58.6	4.5	5.2	37.1	

3.5.4.1. Βουλγαρία

Η ΕΙΑ εκτιμά ότι η Βουλγαρία διαθέτει 17 Tcf τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου. Επί του παρόντος δεν έχουν διεξαχθεί επίσημες εθνικές μελέτες για την εκτίμηση των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου στη Βουλγαρία, ενώ η αμερικανική εταιρεία ενέργειας Direct Petroleum ανακοίνωσε τον εντοπισμό 6 Bcm σχιστολιθικού αερίου στην περιοχή Deventci και 300 Bcm κοντά στο Etrropole.

Η Βουλγαρία αποτέλεσε το δεύτερο κράτος-μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία επέβαλε μορατόριουμ και απαγόρευσε την υδραυλική ρωγμάτωση τον Ιανουάριο του 2012. Η κυβέρνηση της Βουλγαρίας αρχικά αντιμετώπισε την προοπτική της ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου της χώρα με μεγάλο ενθουσιασμό. Η Υπουργός Ενέργειας TraychoTraykon (2009–2012) είχε δηλώσει το 2011 ότι στη Βουλγαρία θα μπορούσαν να βρεθούν 35,3Tcf σχιστολιθικού αερίου τα οποία θα μπορούσαν να καλύψουν τη ζήτηση στη χώρα σε φ.α. για 300 χρόνια! Η νέα κυβέρνηση της χώρας, με πρωθυπουργό τον Palmen Oresharski, διατήρησε μεν το μορατόριουμ, αλλά δήλωσε ότι η υφιστάμενη κατάσταση μπορεί να αλλάξει. Τον Ιούνιο του 2013, η υπουργός περιβάλλοντος Iskra Mihaylova ανακοίνωσε ότι το μορατόριουμ είναι μόνο ένα προσωρινό μέτρο και περαιτέρω αναλύσεις μπορούν να δείξουν που είναι ασφαλές να διερευνηθεί το σχιστολιθικό αέριο. Ωστόσο, μετά από διαμαρτυρίες περιβαλλοντικών ομάδων που ανησυχούσαν για τη ρύπανση των υπόγειων υδάτων, επιβεβαίωσε ότι θα διατηρηθεί το μορατόριουμ (Shale Gas Europe, 2014).

Τον Ιούνιο του 2011, η εταιρεία Chevron ήταν η πρώτη που έλαβε πενταετή άδεια έρευνας σχιστολιθικού αερίου στη χώρα. Οι διαμαρτυρίες κατά της υδραυλικής ρωγμάτωσης οδήγησαν στην εγκατάλειψη των σχεδίων της εταιρείας. Αργότερα το 2012, μια κοινοπραξία της γαλλικής εταιρείας Total, της αυστριακής εταιρείας OMV και της ισπανικής εταιρείας Repsol υπέγραψαν σύμβαση με τη βουλγαρική κυβέρνηση για την έρευνα ενός από τα πιο ελπιδοφόρα πεδία συμβατικού φ.α. υπεράκτια στη Μαύρη Θάλασσα, το Khan Asparuh. Οι αρχικές μελέτες εκτιμούν δυνητικά αποθέματα μεταξύ 1,5 και 3 Bcf. Οι τρεις εταιρείες κατέβαλαν προκαταβολή ύψους 40 εκατομμυρίων ευρώ και τα έξοδα της ερευνητικής γεώτρησης αναμένεται να υπερβούν τα 100 εκατομμύρια ευρώ. Τον Απρίλιο του 2015, η βουλγαρική κυβέρνηση δημοσίευσε πρόσθετες προσφορές για δύο επιπλέον μπλοκ στη Μαύρη Θάλασσα: «Silistar» και «Teres». Τα τρία μπλοκ της Μαύρης Θάλασσας θεωρούνται από την κυβέρνηση ως η μοναδική τρέχουσα βιώσιμη επιλογή για την εγχώρια παραγωγή φ.α. (Wang & Hefley, 2016).

3.5.4.2. Ρουμανία

Η Ρουμανία είναι συγχρόνως χώρα διέλευσης για το ρωσικό φ.α. και χώρα παραγωγός μέρους του φ.α. που καταναλώνεται στο εσωτερικό της. Η EIA εκτιμά ότι η Ρουμανία διαθέτει 51 Tcf τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου. Τον Νοέμβριο του 2013, μελέτη της Εθνικής Ρουμανικής Επιτροπής του Παγκόσμιου Συμβουλίου Ενέργειας (World Energy Council - WEC), η οποία υπογράφηκε από 43 ειδικούς, αποκάλυψε ότι η Ρουμανία παρουσιάζει σημαντικό δυναμικό αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου σε αρκετές περιοχές της.

Η Ρουμανία αντιμετώπισε παρόμοιες με την Βουλγαρία διαδηλώσεις κατά της υδραυλικής ρωγμάτωσης, λόγω των ερευνών σχιστολιθικού αερίου από την αμερικανική εταιρεία Chevron. Η βουλγαρική κυβέρνηση τον Μάιο του 2012 ανέστειλε προσωρινά τις άδειες για έρευνα σχιστολιθικού αερίου, αναμένοντας από την Ευρωπαϊκή Ένωση την έκδοση μελέτης σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή του. Τον Μάρτιο του 2013, ο πρωθυπουργός Victor Ponta ανακοίνωσε ότι αναβλήθηκε το μορατόριουμ για την έρευνα του σχιστολιθικού φ.α. στη Ρουμανία.

Η ρουμανική κυβέρνηση υποστηρίζει την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου, επικαλούμενη την ενεργειακή ανεξαρτησία και τη μείωση της τιμής του φ.α. ως κίνητρο για τη έρευνα των πόρων του σχιστολιθικού αερίου. Ο πρώην υπουργός Ενέργειας Constantin Niță πρότεινε την διεξαγωγή περισσότερων ερευνών για να καθοριστεί το μέγεθος των

κοιτασμάτων σχιστολιθικού φ.α. Ο Πρωθυπουργός Victor Ponta αντιμετωπίζει την προοπτική του σχιστολιθικού αερίου, πολύ θετικά, λέγοντας ότι υποστηρίζει τόσο την έρευνα, όσο και την εκμετάλλευση (Shale Gas Europe, 2014).

3.5.4.3. Ουκρανία

Η Ουκρανία είναι μία από τις χώρες με το μεγαλύτερο δυναμικό παραγωγής σχιστολιθικού αερίου, καθώς η ΕΙΑ εκτιμά ότι διαθέτει 158 Tcf τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου. Οι εθνικές εκτιμήσεις της χώρας είναι πιο αισιόδοξες, καθώς υποστηρίζουν ότι τα τεχνικά ανακτήσιμα της χώρας ανέρχονται σε έως και 22 Tcm, χωρίς όμως αυτό να έχει εξακριβωθεί από αποτελέσματα ερευνητικών γεωτρήσεων.

Τον Ιανουάριο του 2012, η κυβέρνηση της Ουκρανίας χορήγησε πενταετή άδεια στην εταιρεία Shell για έρευνα στην περιοχή Yuzovska, στην ανατολική λεκάνη Dniepr-Donets, και στην Chevron για την περιοχή Oleska, στην πόλη Lviv. Επί του παρόντος, η έρευνα για σχιστολιθικό αέριο στην Ουκρανία βρίσκεται στο στάδιο όρυξης ερευνητικών γεωτρήσεων τις προαναφερθείσες περιοχές (Wang&Hefley, 2016).

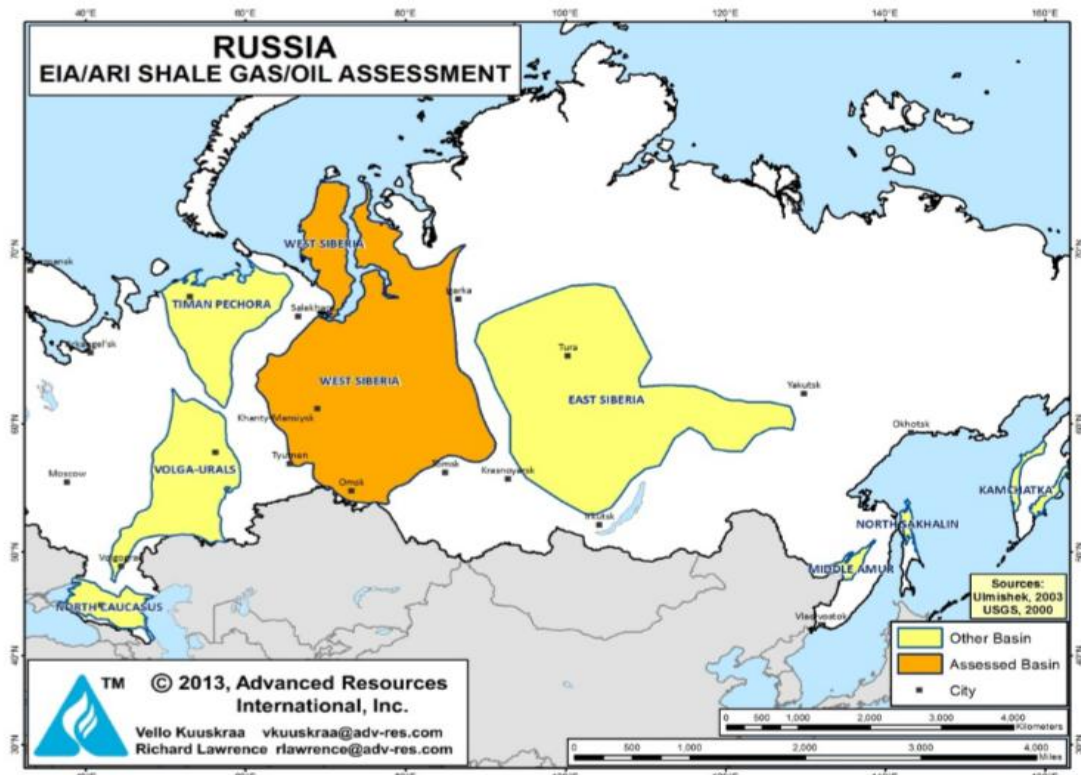
3.5.4.4. Ρωσία

Το ενδιαφέρον της Ρωσίας για το σχιστολιθικό αέριο προκλήθηκε σε μεγάλο βαθμό μετά την «έκρηξη» παραγωγής αυτού του μη συμβατικού υδρογονάνθρακα από τις Η.Π.Α., η οποία αλλάζει τη δομή της ενεργειακής αγοράς. Η βιομηχανία σχιστολιθικού αερίου στη Ρωσία βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης και τα πιθανά αποθέματα δεν έχουν ακόμη προσδιοριστεί επακριβώς. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν ενεργά έργα ανάπτυξης ή παραγωγής σχιστολιθικού αερίου και η Gazprom, ο κορυφαίος παραγωγός φ.α. της Ρωσίας, δήλωσε πρόσφατα ότι δεν ενδιαφέρεται για την υλοποίηση τέτοιων έργων στο εγγύς μέλλον, καθώς τα αποθέματα συμβατικού φ.α. υπερβαίνουν κατά πολύ τις απαιτήσεις της εσωτερικής και εξωτερικής αγοράς. Σημειωτέον η ρωσική κυβέρνηση, αναγνωρίζοντας την μακροπρόθεσμη σημασία της βιομηχανίας του σχιστολιθικού αερίου, ανακοίνωσε ότι μαζί με την Gazprom θα προβούν στη διεξαγωγή γεωλογικής έρευνας για την εκτίμηση των πιθανών αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου της χώρας (Norton Rose Fullbright, 2015).

Στην έκθεση του Ιουνίου του 2013, η ΕΙΑ αξιολόγησε αρκετούς σχηματισμούς στη Ρωσία, συμπεριλαμβανομένου του σχιστόλιθου Upper Jurassic Bazhenov, στη λεκάνη της δυτικής Σιβηρίας. Ο σχηματισμός εκτείνεται σε μεγάλο μέρος της λεκάνης και φτάνει σε βάθη άνω των 16.400ft, στην κεντρική-βόρεια περιοχή (Εικόνα 3-48). Ο σχιστόλιθος Bazhenov

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

εκτιμάται ότι διαθέτει 1.920 Tcf αρχικά επί τόπου αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, με τα 285 Tcf να αξιολογούνται ως τεχνικά ανακτήσιμα (Πίνακας 3-29).



Εικόνα 3-48: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στη Ρωσία (EIA, 2015).

Πίνακας 3-29: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμώμενα αποθέματα στη Ρωσία (EIA/ARI, 2013).

Basic Data	Basin/Gross Area	West Siberian (1,350,000 mi ²)			
	Shale Formation	Bazhenov Central	Bazhenov North		
	Geologic Age	U. Jurassic - L. Cretaceous	U. Jurassic - L. Cretaceous		
	Depositional Environment	Marine	Marine		
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)	116,200	74,400	14,800	
	Thickness (ft)	Organically Rich	100	100	100
		Net	85	85	85
	Depth (ft)	Interval	6,500 - 12,000	6,500 - 13,000	6,500 - 13,000
Average		8,200	9,800	12,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure	Highly Overpress.	Highly Overpress.	Highly Overpress.	
	Average TOC (wt. %)	10.0%	5.0%	5.0%	
	Thermal Maturity (% Ro)	0.85%	0.85%	1.15%	
	Clay Content	Low	Low	Low	
Resource	Oil Phase	Oil	Oil	Condensate	
	OIP Concentration (MMbbl/mi ²)	18.5	13.4	4.3	
	Risked OIP (B bbl)	964.8	261.5	16.8	
	Risked Recoverable (B bbl)	57.89	15.69	1.01	

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Σύμφωνα με την ΕΙΑ, άλλοι σχηματισμοί που μπορεί να περιέχουν σχιστολιθικό αέριο είναι οι σχηματισμοί Lower Jurassic Tyumen και Lower Cretaceous Achimov (οι οποίοι βρίσκονται επίσης στη λεκάνη της Δυτικής Σιβηρίας) και ο σχηματισμός σχιστόλιθου Domanik, στη λεκάνη Timan-Pechora. Ο σχηματισμός Lower Jurassic Tyumen δεν θεωρείται ότι μπορεί να είναι αξιοποιήσιμος στις βόρειες περιοχές της λεκάνης, καθώς προβλέπεται να βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο από 16.400 ft. Λόγω των μη διαθέσιμων δεδομένων για τους άλλους δύο σχηματισμούς, δεν καθίσταται δυνατή η ποσοτική αξιολόγηση των αποθεμάτων τους.

Καθώς τα αποθέματα συμβατικού φ.α. εξαντλούνται σταδιακά, αναμένεται ότι η ανάπτυξη της βιομηχανίας του σχιστολιθικού φ.α. στη Ρωσία θα αποκτήσει ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον τόσο για τις ρωσικές, όσο και για τις ξένες εταιρείες πετρελαίου και φ.α. Βέβαια, δεν αναμένεται ανάπτυξη μεγάλη κλίμακας για το σχιστολιθικό αέριο στη Ρωσία μέσα στην επόμενη δεκαετία, καθώς αποτελεί τον δεύτερο μεγαλύτερο παραγωγό συμβατικού φ.α. παγκοσμίως.

Η Rosneft, η εθνική πετρελαϊκή εταιρεία της Ρωσίας, υπόγραψε το 2013 συμφωνίες με τις εταιρίες ExxonMobil και Statoil με στόχο την εφαρμογή της τεχνολογίας των οριζόντιων γεωτρήσεων και της διέγερσης μεγάλης κλίμακας για την εξόρυξη των τεράστιων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου της Ρωσίας. Η Gazprom Neft και η Shell πραγματοποίησαν την όρυξη γεώτρησης στον σχιστόλιθο Bazhenov στις αρχές του 2014, κοντά στο πετρελαϊκό πεδίο Salym, το οποίο έχει ιστορία παραγωγής πετρελαίου (ΕΙΑ, 2015).

Μεταξύ των ετών 2014 και 2015 η ρωσική κυβέρνηση εστίασε στην προοπτική ανάπτυξης δικών τους τεχνολογιών εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου, έτσι ώστε να αμβλύνουν τις πιθανές επιπτώσεις από την «επανάσταση» του σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α. Ένας από τους κυριότερους περιορισμούς της ανάπτυξης της παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου αποτελεί η έλλειψη της απαιτούμενης τεχνολογίας. Γι' αυτό το λόγο, ρωσικές εταιρείες, όπως οι Rosneft, Gazpromneft, Tatneft και άλλες, ξεκίνησαν να χρησιμοποιούν στοιχεία από την τεχνολογία του σχιστολιθικού αερίου για την ανάπτυξη πεδίων πετρελαίου. Για τον σκοπό αυτό η Ρωσία προσκάλεσε ξένες εταιρείες πετρελαίου και φ.α., κυρίως τις Shell, Total, and ExxonMobil, για την ίδρυση κοινοπραξιών. Επιπλέον, σε αντάλλαγμα για την πρόσβαση της ExxonMobil στην έρευνα των υδάτων RF Arctic, η ρωσική εταιρεία Rosneft απέκτησε μερίδιο στα έργα της ExxonMobil, μιας από τις μεγαλύτερες αμερικανικές

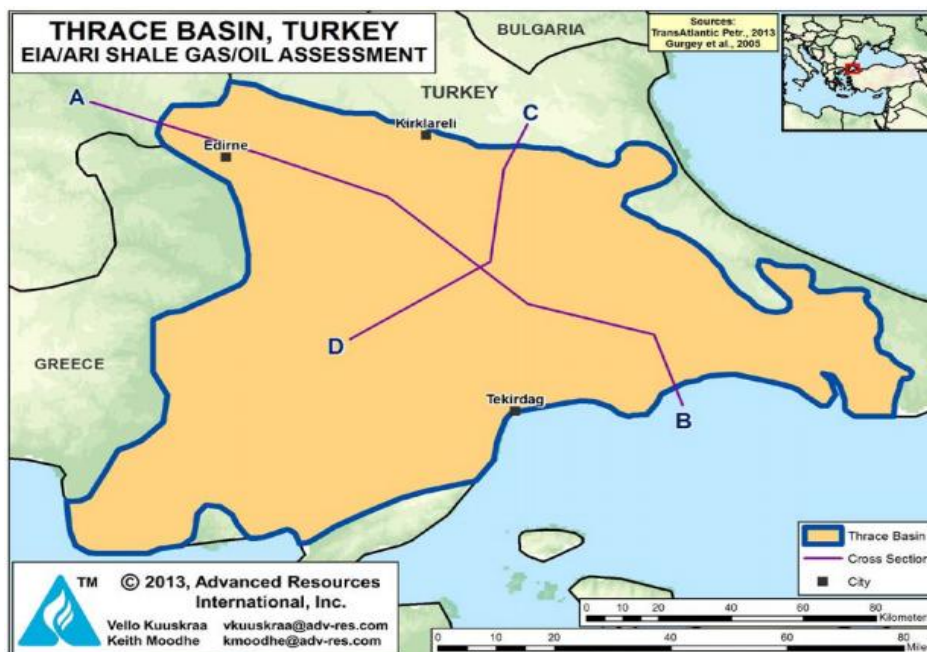
εταιρείες, στη Βόρεια Αμερική, συμπεριλαμβανομένου του σχηματισμού σχιστολιθικού πετρελαίου Cardium στην Αλμπέρτα (Zhiltsov, 2017).

Στον τομέα των οριζόντιων γεωτρήσεων, την περασμένη δεκαετία ο αριθμός των εν λόγω γεωτρήσεων που διανοίχτηκαν στη Ρωσία έχει αυξηθεί κατά 4 φορές, ενώ το συνολικό μήκος τους κατά 5 φορές. Όλες οι εταιρείες στη Ρωσία περιλαμβάνουν τώρα τις οριζόντιες γεωτρήσεις στα αναπτυξιακά τους σχέδια και τις εφαρμογές ενίσχυσης της απόληψης υδρογονανθράκων. Η Rosneft, για παράδειγμα, εκτιμά ότι περίπου το 30% των γεωτρήσεων της κατά τους πρώτους εννέα μήνες του 2016 ήταν οριζόντιες, ενώ η Gazprom Neft δήλωσε ότι οι οριζόντιες γεωτρήσεις αποτελούν περίπου το ήμισυ όλων των νέων γεωτρήσεων. Πράγματι, το περιοδικό ROGTEC, το περιοδικό της ρωσικής βιομηχανίας πετρελαίου που καλύπτει θέματα τεχνολογίας, έχει εκτιμήσει ότι μέχρι το 2025 το 50% όλων των νέων γεωτρήσεων στη Ρωσία θα είναι οριζόντιες αναδεικνύοντας την ανοδική δυναμική χρήσης αυτής της τεχνολογίας (The Oxford Institute for Energy Studies, 2017).

3.5.5. Νότια Ευρώπη

3.5.5.1. Ελλάδα

Σύμφωνα με την ΕΙΑ, έχουν εντοπιστεί σημαντικές ποσότητες σχιστολιθικού αερίου κοντά στα ελληνοτουρκικά σύνορα, στην περιοχή του Έβρου στην Ανατολική Θράκη.



Εικόνα 3-49: Ύπαρξη σχιστολιθικού αερίου στη λεκάνη της Θράκης στα σύνορα Ελλάδας και Τουρκίας (ΕΙΑ, 2015).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Σύμφωνα με γεωλογική μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) εκτιμάται ότι κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου εντοπίζονται στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης, στη λεκάνη Ορεστιάδας στη Λεκάνη Αξιού - Θερμαϊκού Κόλπου και στη νήσο Λήμνο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3-50 (ΙΓΜΕΜ, 2012).



Εικόνα 3-50: Εμφανίσεις σχιστολιθικών σχηματισμών στην Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα και θέσεις γεωτρήσεων (Roussos, 1993).

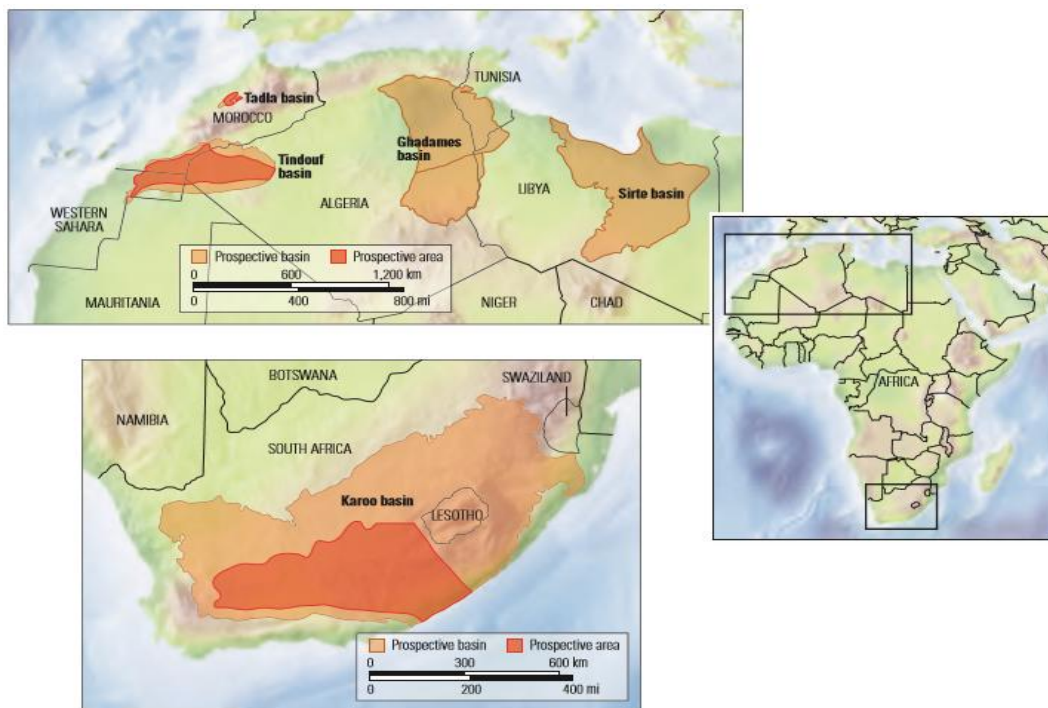
Η канаδική εταιρεία Cub Energy, που δραστηριοποιείται στην Ουκρανία στην εκμετάλλευση σχιστολιθικού αερίου, έχει καταθέσει αίτηση για έρευνες στη Θράκη και συγκεκριμένα σε δύο περιοχές στην Αλεξανδρούπολη και την Ορεστιάδα. Οι περιοχές αυτές εικάζεται ότι μπορεί να αποτελούν τη γεωλογική προέκταση ενός από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου που έχουν εντοπιστεί τα τελευταία χρόνια, του Hamitabat Shale στην Ανατολική Θράκη στην Τουρκία.

Επίσης, η μελέτη των Καρακίτσιος και Αγιάδη (2013) υποστηρίζει ότι ταμειυτήρες σχιστολιθικού αερίου στη Δυτική Ελλάδα εντοπίζονται πιθανότατα σε όλες τις περιοχές όπου οι σχιστόλιθοι εμφανίζονται κάτω από την στάθμη των υδάτων, με σημαντική έκταση και περιεκτικότητα σε οργανική ύλη μεγαλύτερη από 1% και κατά τη γεωλογική τους ιστορία βρέθηκαν υπό συνθήκες αντίστοιχες με το «παράθυρο αερίου» (σε βάθη άνω των 5.000 έως 6.000 μέτρων). Η Δυτική Ελλάδα περιέχει αργιλικά πετρώματα που βρίσκονται μέσα στο «παράθυρο» του φ.α. από τα οποία μπορεί να παράγεται σχιστόλιθος και κατά

συνέπεια τα πετρώματα αυτά αποτελούν δυνητικά εκμεταλλεύσιμες δεξαμενές σχιστολιθικού αερίου (Karakitsios&Agiadi, 2013).

3.6. Αφρική

Η Αφρική διαθέτει αρκετές λεκάνες οι οποίες θεωρούνται πιθανοί σχηματισμοί σημαντικών αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου. Εξαιτίας της παρουσίας μεγάλων κοιτασμάτων ανεκμετάλλευτου συμβατικού φ.α., έχει εκπονηθεί μικρός αριθμός μελετών και αναφορών που σχετίζονται με τις έρευνες για σχιστολιθικό αέριο. Το 2013, η ΕΙΑ εκπόνησε μελέτη για την κατανομή των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου παγκοσμίως, η οποία περιλάμβανε νέα δεδομένα για τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στη Αφρική. Στη Βόρεια Αφρική, το μεγαλύτερο μέρος του σχιστολιθικού αερίου συγκεντρώνεται στην Αλγερία, στη Λιβύη και την Αίγυπτο, ενώ στη νότια Αφρική η λεκάνη Karoo αποτελεί τη μεγαλύτερη λεκάνη σχιστολιθικού αερίου και καλύπτει σχεδόν τα δύο τρίτα της χώρας (Εικόνα 3-51).

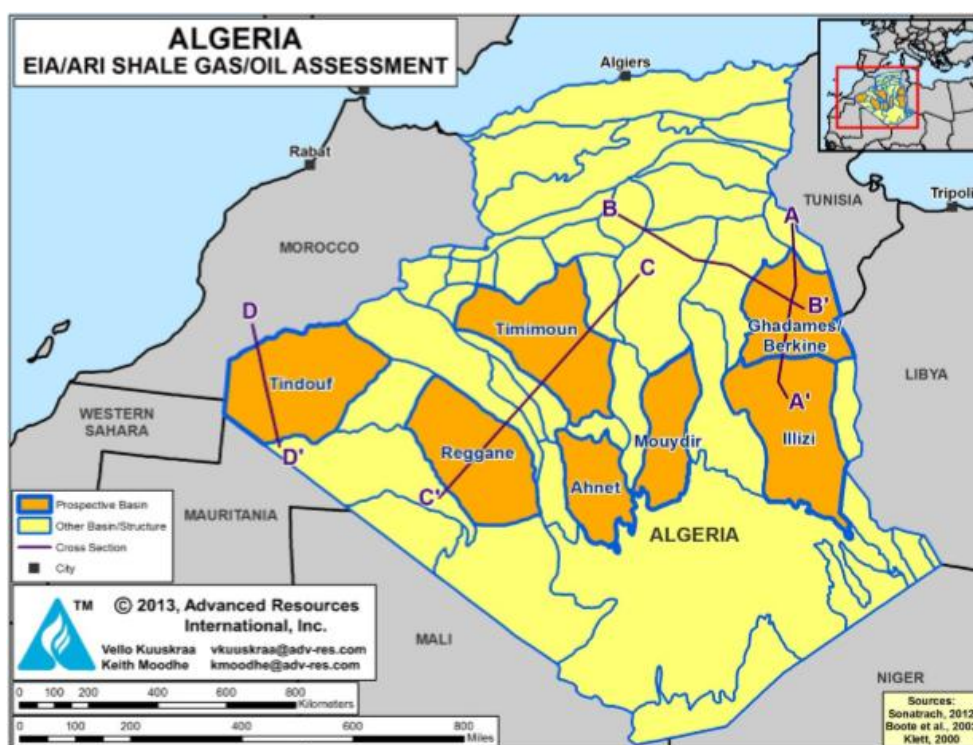


Εικόνα 3-51: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Βόρεια και Νότια Αφρική (Alexander, και συν., 2011).

3.6.1. Βόρεια Αφρική

3.6.1.1. Αλγερία

Η Αλγερία διαθέτει δύο σημαντικούς σχηματισμούς σχιστολιθικού αερίου: τον Silurian Tanezuft Shale και τον Devonian Frasnian Shale. Το σχιστολιθικό αέριο κατανέμεται στην Αλγερία στις λεκάνες Ghadames (Berkine) και Illizi στο ανατολικό τμήμα, στις λεκάνες Timimoun, Ahnet και Mouydir στο κεντρικό τμήμα και, τέλος, στις λεκάνες Reggane και Tindouf στη νοτιοδυτική Αλγερία (Εικόνα 3-52).



Εικόνα 3-52: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Αλγερία (EIA/ARI, 2013).

Σύμφωνα με την EIA, οι επτά προαναφερθείσες λεκάνες εκτιμάται ότι περιέχουν 3,419 Tcf επί τόπου αρχικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, με τα 707 Tcf να χαρακτηρίζονται ως τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα. Τα αποθέματα της κατατάσσουν την Αλγερία στην τρίτη θέση παγκοσμίως με τις χώρες με τα υψηλότερα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου (Πίνακας 3.27).

Η εταιρεία φ.α. της Αλγερίας, Sonatrach, έχει αναλάβει προσπάθεια να καθορίσει το μέγεθος και την ποιότητα των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου της χώρας. Το επόμενο πλάνο αποτελεί η όρυξη μιας σειράς δοκιμαστικών γεωτρήσεων στις κύριες λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Αλγερία με υψηλό ποσοστό άνθρακα (TOC >2%), πάχος >20m και σε μέτρια βάθη (< 3000m). Η πρώτη δοκιμαστική γεώτρηση έχει προγραμματιστεί

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

για τη λεκάνη Berkine (Ghadames), ακολουθούμενη από δοκιμαστικές γεωτρήσεις στις λεκάνες Illizi, Timimoun, Ahnet και Mouydir (EIA, 2013).

Το 2013, η αλγερινή κυβέρνηση θέσπισε φορολογικά κίνητρα για την προσέλκυση ξένων εταιρειών και την ενθάρρυνσή τους να αναλάβουν νέες επιχειρηματικές δραστηριότητες, ιδίως στην έρευνα του σχιστολιθικού αερίου. Η αλγερινή κυβέρνηση έχει εκφράσει τη σημασία της συμμετοχής ξένων εταίρων στην αύξηση των αποθεμάτων πετρελαίου και φ.α. και στην έρευνα νέων περιοχών.

Το 2014, η έρευνα για το σχιστολιθικό αέριο στην Αλγερία ολοκληρώθηκε με την όρυξη γεώτρησης και την εφαρμογή υδραυλικής ρωγμάτωσης στη λεκάνη Berkine. Ο τελευταίος γύρος υποβολής προσφορών το 2014 έβγαλε συνολικά 17 από τις 31 άδειες που προσφέρονταν για συμβάσεις μη συμβατικών υδρογονανθράκων, με πέντε από αυτές να χορηγούνται στις εταιρίες Repsol, Shell, Statoil και Dragon Oil-Enel. Ωστόσο, η θέση της εθνικής εταιρείας Sonatrach αναμένεται να παραμείνει δεσπόζουσα, καθώς κατέχει το 51% σε κάθε έργο σχιστολιθικού αερίου στη χώρα. Το 2015 η Sonatrach ανακοίνωσε επενδυτικά της τάξης των 70 δισεκατομμυρίων δολαρίων σε έργα σχιστολιθικού αερίου (export.gov, 2016).

Ωστόσο και η αλγερινή κυβέρνηση καλείται να αντιμετωπίσει την αντίδραση των πολιτών έναντι των δραστηριοτήτων εκμετάλλευσης σχιστολιθικού αερίου. Στην επαρχία AinSalah, στο νότιο τμήμα της Αλγερίας, από τις αρχές του 2015 έγιναν συνεχείς διαδηλώσεις κατά του σχιστολιθικού αερίου. Σε μία από τις μεγαλύτερες διαμαρτυρίες στην πόλη Tamanrasset, περίπου 4.000 άνθρωποι συσπειρώθηκαν σε μια προσπάθεια να σταματήσουν τις εργασίες εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου από γεώτρησης της Sonatrach στις, στις αρχές του 2015. Η αντίδραση των πολιτών οφείλεται στον φόβο των επιπτώσεων στο περιβάλλον και στα υπόγεια ύδατα.

Περισσότερο από το 95% των εξαγωγών της Αλγερίας προέρχονται από την παραγωγή πετρελαίου και φ.α., με τις εξαγωγές αυτές να υποχωρούν κατά 10% το 2012 και 2013. Η είσοδος της Αλγερίας στο μη συμβατικό φ.α. θα αντισταθμίσει αυτή τη μείωση και θα συμβάλει στην διασφάλιση του οικονομικού μέλλοντος της χώρας (The future potential of Algerian unconventional, 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

Πίνακας 3-30: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμούμενα αποθέματα στην Αλγερία (ΕΙΑ, 2015).

Basic Data	Basin/Gross Area		Ghadames/Berkine (117,000 mi ²)				Illizi (44,900 mi ²)		
	Shale Formation		Frasnian		Tannezuft		Tannezuft		
	Geologic Age		U. Devonian		Silurian		Silurian		
	Depositional Environment		Marine		Marine		Marine		
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		2,720	3,840	3,490	6,050	22,080	9,840	18,780
	Thickness (ft)	Organically Rich	275	275	275	115	115	180	180
		Net	248	248	248	104	104	162	162
	Depth (ft)	Interval	8,000 - 10,500	9,000 - 10,000	10,000 - 16,000	10,000 - 14,500	11,000 - 16,000	3,300 - 8,000	3,300 - 8,000
Average		8,500	9,500	13,000	10,500	13,000	5,000	5,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.
	Average TOC (wt. %)		6.0%	6.0%	6.0%	5.7%	5.7%	5.7%	5.7%
	Thermal Maturity (% Ro)		0.85%	1.15%	1.70%	1.15%	1.90%	1.15%	1.70%
	Clay Content		Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
Resource	Gas Phase		Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Wet Gas	Dry Gas	Wet Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		35.4	111.4	133.9	42.9	54.5	50.9	60.7
	Risked GIP (Tcf)		48.2	213.8	233.7	129.9	601.3	100.1	203.6
	Risked Recoverable (Tcf)		4.8	42.8	58.4	28.0	150.3	15.0	40.7

Basic Data	Basin/Gross Area		Timimoun (43,700 mi ²)		Ahnet (20,200 mi ²)		Mouydir (22,300 mi ²)	
	Shale Formation		Frasnian	Tannezuft	Frasnian	Tannezuft	Tannezuft	Tannezuft
	Geologic Age		U. Devonian	Silurian	U. Devonian	Silurian	Silurian	Silurian
	Depositional Environment		Marine	Marine	Marine	Marine	Marine	Marine
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		32,040	41,670	1,650	5,740	11,730	12,840
	Thickness (ft)	Organically Rich	200	100	275	60	330	60
		Net	180	90	248	54	297	54
	Depth (ft)	Interval	3,300 - 9,000	5,000 - 15,000	3,300 - 6,600	5,000 - 9,500	6,000 - 10,500	5,000 - 10,000
Average		6,000	10,000	5,000	7,000	8,000	6,500	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.
	Average TOC (wt. %)		4.0%	2.8%	4.0%	3.0%	2.8%	3.0%
	Thermal Maturity (% Ro)		1.70%	2.00%	1.15%	1.70%	2.00%	2.20%
	Clay Content		Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
Resource	Gas Phase		Dry Gas	Dry Gas	Wet Gas	Dry Gas	Dry Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		72.9	35.5	77.6	21.6	109.0	18.5
	Risked GIP (Tcf)		467.1	295.5	25.6	24.8	255.7	47.6
	Risked Recoverable (Tcf)		93.4	59.1	3.8	5.0	51.1	9.5

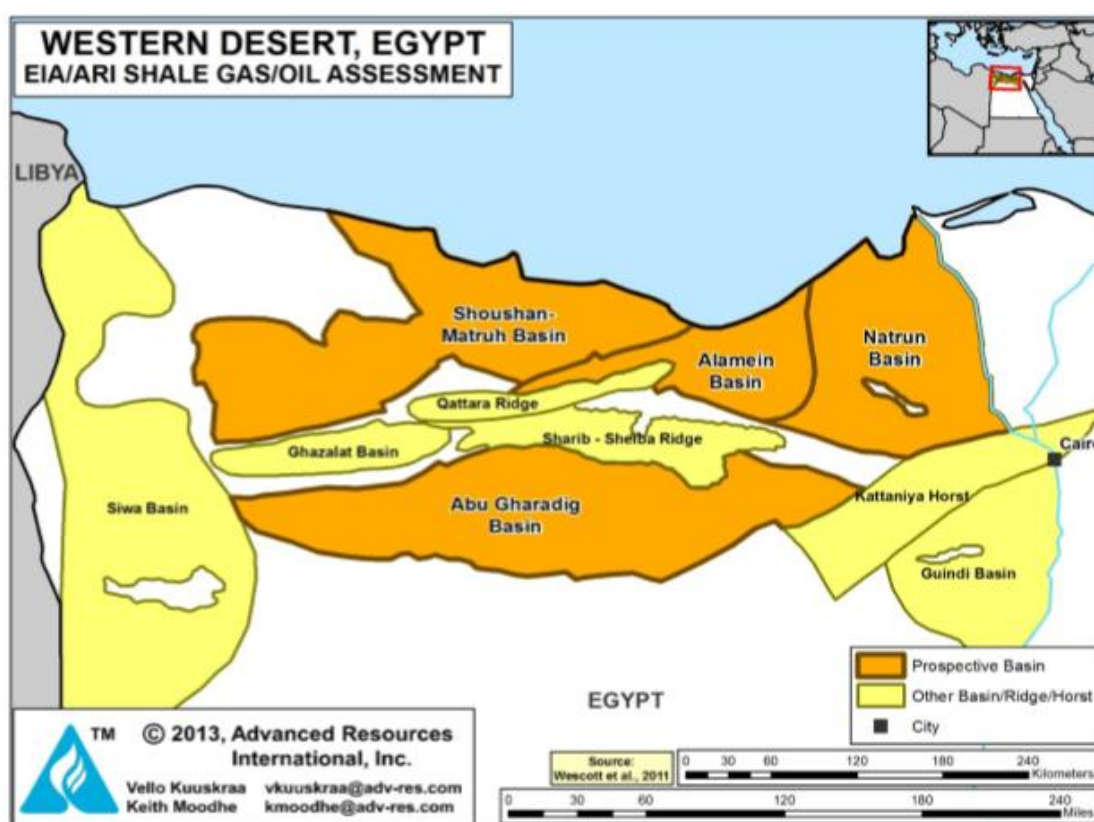
Basic Data	Basin/Gross Area		Reggane (40,000 mi ²)				Tindouf (77,000 mi ²)	
	Shale Formation		Frasnian		Tannezuft		Tannezuft	
	Geologic Age		U. Devonian		Silurian		Silurian	
	Depositional Environment		Marine		Marine		Marine	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		2,570	2,110	10,150	24,600	5,340	23,800
	Thickness (ft)	Organically Rich	330	260	130	230	60	60
		Net	297	234	117	207	54	54
	Depth (ft)	Interval	5,500 - 14,500	6,600 - 16,000	5,000 - 9,500	7,500 - 16,000	6,600 - 13,000	6,600 - 14,000
Average		10,000	11,000	8,000	12,000	10,000	11,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.
	Average TOC (wt. %)		3.0%	3.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
	Thermal Maturity (% Ro)		1.15%	1.70%	1.15%	1.80%	1.15%	2.50%
	Clay Content		Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
Resource	Gas Phase		Wet Gas	Dry Gas	Wet Gas	Dry Gas	Wet Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		103.9	97.3	38.3	94.4	18.9	24.2
	Risked GIP (Tcf)		53.4	41.0	77.8	464.5	20.2	115.2
	Risked Recoverable (Tcf)		8.0	8.2	11.7	92.9	3.0	23.0

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

3.6.1.2. Αίγυπτος

Η Αίγυπτος είναι ένας από τους παλαιότερους παραγωγούς ενεργειακών πρώτων υλών στη Μέση Ανατολή, με ιστορία εμπορικής παραγωγής πετρελαίου που χρονολογείται περισσότερο από έναν αιώνα. Η χώρα επωφελείται από το χαμηλό κόστος παραγωγής και από σχετικά μεγάλα αποθέματα πετρελαίου και φ.α. τόσο στην ξηρά, όσο και στην ανοικτή θάλασσα. Οι αναπτυγμένες υποδομές επέτρεψαν στη χώρα κατά τις τελευταίες δεκαετίες να διατηρήσει μια σημαντική εξαγωγική αγορά, μέσω των μεταφερόμενων προϊόντων και του συστήματος αγωγών μεταφοράς, καθώς και του αντίστοιχου (downstream) τομέα.

Το βόρειο τμήμα της Δυτικής Ερήμου της Αιγύπτου περιέχει μια σειρά από λεκάνες, οι οποίες είναι πλούσιες σε σχιστολιθικό αέριο. Οι βασικές λεκάνες σχιστολιθικού αερίου περιλαμβάνουν τις: Abu Gharadig, Alamein, Natrun και Shoushan-Matruh (Εικόνα 3-53). Η Δυτική Έρημος αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα πεδία συμβατικού πετρελαίου και φ.α. της Αιγύπτου, συμπεριλαμβανομένων των πλέον πρόσφατα ανακαλυφθέντων μεγάλων πεδίων Kanayes (ανακαλύφθηκε το 1992), Obayeid (ανακαλύφθηκε το 1993) και Shams.



Εικόνα 3-53: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Αίγυπτο (EIA, 2015).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

Ο σημαντικότερος σχιστόλιθος της Αιγύπτου είναι ο Khatatba Shale, μέσα στον ευρύτερο σχηματισμό της Middle Jurassic Khatatba. Σύμφωνα με την ΕΙΑ, εκτιμάται ότι ο εν λόγω σχιστολιθικός σχηματισμός περιέχει 535 Tcf επί τόπου αρχικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, με τα 100 Tcf να θεωρούνται ως τεχνικά ανακτήσιμα (Πίνακας 3-31) (ΕΙΑ, 2015).

Η Αίγυπτος έχει ξεκινήσει τις δραστηριότητες έρευνας σχιστολιθικού αερίου, καθώς η χώρα φιλοδοξεί να αναπτύξει τους μη συμβατικούς υδρογονάνθρακες στο εγγύς μέλλον. Το 2015, η εταιρεία Apache, ο μεγαλύτερος παραγωγός πετρελαίου και φ.α. στην Αίγυπτο και ένας από τους μεγαλύτερους ξένους επενδυτές στη χώρα, ολοκλήρωσε τις απαραίτητες μελέτες για την έρευνα σχιστολιθικού αερίου στο πεδίο Obayyed της Δυτικής Ερήμου, για πρώτη φορά στην Αίγυπτο (EgyptOil&Gas, 2015).

Πίνακας 3-31: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμούμενα αποθέματα στην Αίγυπτο (ΕΙΑ/ARI, 2013)

Basic Data	Basin/Gross Area	Abu Gharadig (7,670 mi ²)	Alamein (2,340 mi ²)	Natrun (4,860 mi ²)	Shoushan-Matruh (7,080 mi ²)	
	Shale Formation	Khatatba	Khatatba	Khatatba	Khatatba	
	Geologic Age	M. Jurassic	M. Jurassic	M. Jurassic	M. Jurassic	
	Depositional Environment	Marine	Marine	Marine	Marine	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)	6,840	2,340	4,860	4,420	
	Thickness (ft)	Organically Rich	1,500	1,000	1,200	1,000
		Net	300	200	240	200
	Depth (ft)	Interval	11,000 - 13,000	13,000 - 15,000	13,000 - 15,000	10,000 - 15,000
Average		12,000	14,000	14,000	13,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure	Normal	Normal	Normal	Normal	
	Average TOC (wt. %)	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	
	Thermal Maturity (% Ro)	1.15%	0.85%	0.85%	1.15%	
	Clay Content	Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium	Low/Medium	
Resource	Gas Phase	Wet Gas	Assoc. Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)	99.2	29.1	35.0	71.3	
	Risked GIP (Tcf)	325.7	16.7	41.6	151.2	
	Risked Recoverable (Tcf)	65.1	1.3	3.3	30.2	

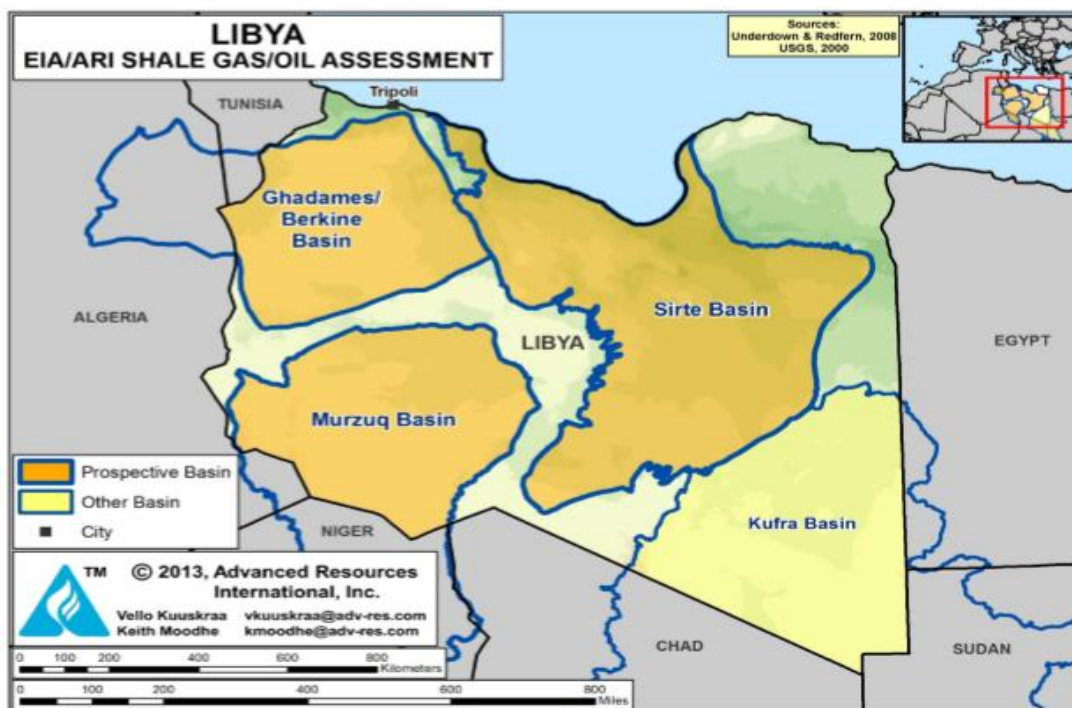
Το 2015, ο πρόεδρος της «Egyptian General Petroleum Corporation» (EGPC), Tarek El Molla, υπέγραψε συμφωνία με την Apache και την Shell Egypt επενδυτικής αξίας που κυμαίνεται μεταξύ 30 και 40 εκατομμυρίων δολαρίων για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στο πεδίο Arollonia της Δυτικής Ερήμου, ενώ η τιμή πώλησης του φ.α. έχει καθοριστεί από τις αρχές σε 5,45 δολάρια/MBtu (million British Thermal Units). Η εταιρεία Khalda Petroleum Co., θα πραγματοποιεί τις εργασίες εξόρυξης εξ ονόματος των δύο ως άνω εταιρειών. Η πρώτη γεώτρηση ολοκληρώθηκε και τέθηκε σε λειτουργία τον Ιούλιο του 2016 και πέτυχε ρυθμό παραγωγής 6,5 Mcf φ.α. ανά μέρα. Ο συνολικός ρυθμός παραγωγής της γεώτρησης έφτασε τα 680Mcf μέχρι τα τέλη Οκτωβρίου 2016, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία υδραυλικής παραμάτωσης πολλαπλών σταδίων. Η δεύτερη γεώτρηση αναμένεται

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

να ολοκληρωθεί χρησιμοποιώντας την ίδια τεχνολογία και αναμένεται να τεθεί σε παραγωγή. Επίσης, η Apache σχεδιάζει να επενδύσει 100 εκατομμύρια δολάρια για την υλοποίηση του σχεδίου όρυξης 20 οριζόντιων γεωτρήσεων στο πεδίο Arollonia στη δυτική έρημο (Energy Egypt, 2014) (The Economist, 2015).

3.6.1.3. Λιβύη

Η Λιβύη είναι μια από τις σημαντικότερες χώρες παραγωγής υδρογονανθράκων στη Βόρεια Αφρική, με μια επιτυχημένη ιστορία έρευνας και παραγωγής πετρελαίου και φ.α., ιδιαίτερα στη λεκάνη Sirte. Η παραγωγή πετρελαίου και φ.α. στην Λιβύη ξεκίνησε πριν από περισσότερα από 55 χρόνια. Το σχιστολιθικό αέριο στη Λιβύη συγκεντρώνεται κυρίως σε τρεις λεκάνες: τη λεκάνη Ghadames (Berkine) στα δυτικά, τη λεκάνη Sirte στα κεντρικά και τη λεκάνη Murzuq στα νοτιοδυτικά της χώρας (Εικόνα 3-54).



Εικόνα 3-54: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στη Λιβύη (EIA, 2015).

Σύμφωνα με την EIA, εκτιμάται ότι οι τρεις λεκάνες περιέχουν 942 Tcf επί τόπου αρχικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου, με τα 122 Tcf να θεωρούνται ως τεχνικά ανακτήσιμα (Πίνακας 3-32).

Πίνακας 3-32: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμούμενα αποθέματα στην Λιβύη (EIA/ARI, 2013).

Basic Data	Basin/Gross Area	Ghadames (117,000 mi ²)						
	Shale Formation	Tannezuft			Frasnian			
	Geologic Age	L. Silurian			U. Devonian			
	Depositional Environment	Marine						
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)	16,440	3,350	2,580	1,570	370	30	
	Thickness (ft)	Organically Rich	115	115	115	197	197	197
		Net	104	104	104	177	177	177
	Depth (ft)	Interval	10,000 - 11,000	10,500 - 11,500	11,000 - 14,500	8,000 - 10,000	9,000 - 10,000	11,000 - 12,000
Average		10,500	11,000	13,000	8,500	9,500	11,500	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	
	Average TOC (wt. %)	5.7%	5.7%	5.7%	6.0%	6.0%	6.0%	
	Thermal Maturity (% Ro)	0.85%	1.15%	1.60%	0.85%	1.15%	1.35%	
	Clay Content	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	
Resource	Gas Phase	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	Assoc. Gas	Wet Gas	Dry Gas	
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)	11.8	43.4	54.5	25.4	79.8	93.1	
	Risked GIP (Tcf)	96.9	72.7	70.3	19.9	14.8	1.4	
	Risked Recoverable (Tcf)	9.7	14.5	17.6	2.0	3.0	0.3	

Basic Data	Basin/Gross Area	Sirte (172,000 mi ²)		Murzuq (97,000 mi ²)	
	Shale Formation	Sirte/Rachmat	Etel Fm	Tannezuft	
	Geologic Age	U. Cretaceous	U. Cretaceous	L. Silurian	
	Depositional Environment	Marine	Marine	Marine	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)	35,240	19,920	5,670	
	Thickness (ft)	Organically Rich	2,000	600	67
		Net	200	120	60
	Depth (ft)	Interval	10,000 - 12,000	11,000 - 16,400	3,300 - 10,000
Average		11,000	13,500	6,500	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure	Normal	Normal	Mod. Overpress.	
	Average TOC (wt. %)	2.8%	3.6%	7.0%	
	Thermal Maturity (% Ro)	0.85%	1.15%	0.90%	
	Clay Content	Medium	Medium	Medium	
Resource	Gas Phase	Assoc. Gas	Wet Gas	Assoc. Gas	
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)	24.8	37.4	6.5	
	Risked GIP (Tcf)	349.8	297.9	18.6	
	Risked Recoverable (Tcf)	28.0	44.7	1.9	

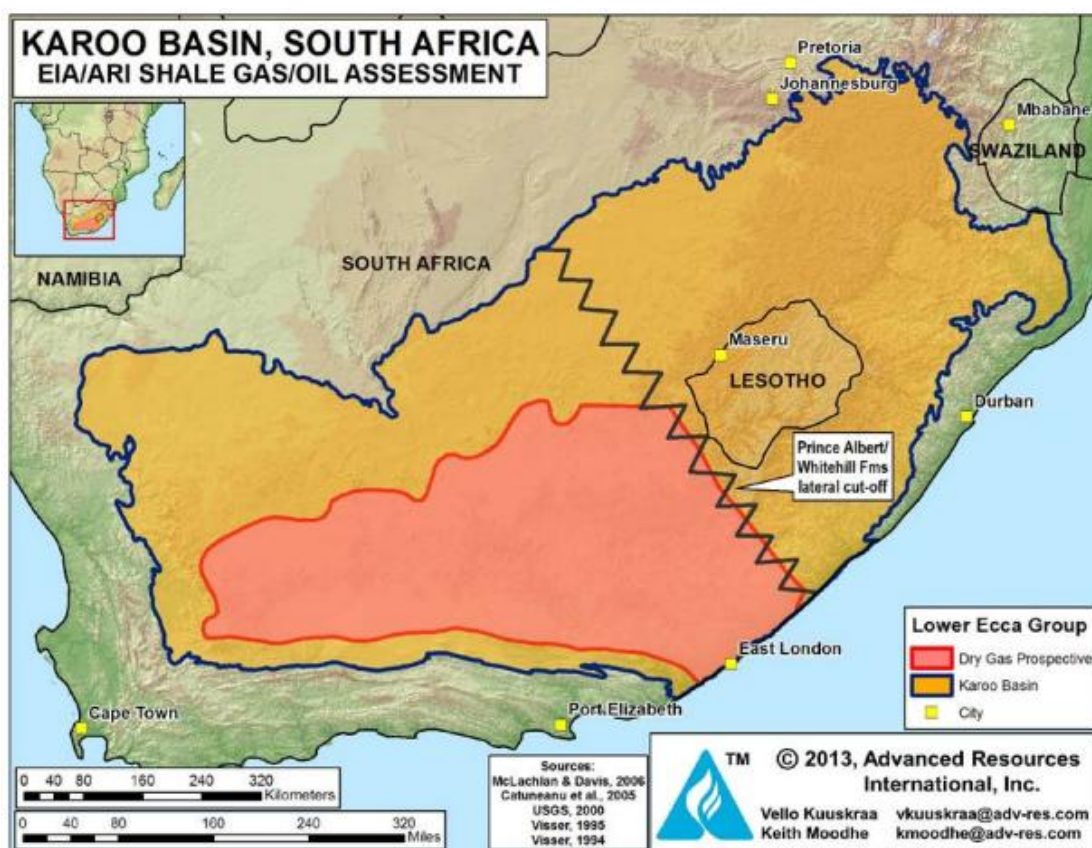
Το 2012, ο Πρόεδρος της Εθνικής Εταιρείας Πετρελαίου της Λιβύης, κ. Nuri Berruien, ανακοίνωσε ότι η εταιρεία εξετάζει τις επιλογές για την εξερεύνηση των μη συμβατικών αποθεμάτων πετρελαίου και φ.α. της χώρας.

Η Λιβύη έχει μια εξαιρετική ευκαιρία να υπερβεί το ημερήσιο ποσοστό παραγωγής πετρελαίου και φ.α., εάν η κυβέρνηση λάβει μέτρα για την διερεύνηση και εκμετάλλευση των μη συμβατικών και εναπομείναντων συμβατικών αποθεμάτων υδρογονανθράκων. Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η χώρα είναι η απουσία

ισχυρής κυβέρνησης, η οποία θα εξασφαλίσει στις εθνικές και διεθνείς εταιρείες να ξαναρχίσουν τις δραστηριότητές τους. Τέλος, οι τεχνολογικές προκλήσεις για τη διερεύνηση και ανάπτυξη των πεδίων μη συμβατικού φ.α., ο εκσυγχρονισμός των υποδομών και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποτελούν καίρια ζητήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η Λιβύη (Abualkhir, 2016).

3.6.2. Νότια Αφρική

Η νότια Αφρική περιέχει τη μεγάλη λεκάνη σχιστολιθικού αερίου Karoo Basin στο κεντρικό και νότιο τμήμα της. Η λεκάνη Karoo, έκτασης 236.400 τετραγωνικών μιλίων, καλύπτει σχεδόν τα δύο τρίτα της χώρας, με το νότιο τμήμα της να είναι αυτό που παρουσιάζει τις μεγαλύτερες προοπτικές αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου (Εικόνα 3-55).



Εικόνα 3-55: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στη λεκάνη Karoo, στην Νότιο Αφρική (EIA, 2015).

Η λεκάνη περιλαμβάνει τρεις σχιστολιθικούς σχηματισμούς, τους Prince Albert, Whitehill και Collingham, των οποίων η συνολική ποσότητα των επί τόπου αρχικά αποθεμάτων εκτιμάται ότι είναι 1.559 Tcf, με τα 370 Tcf να θεωρούνται ως τεχνικά ανακτήσιμα, γεγονός που την καθιστά 8^η χώρα παγκοσμίως με τα μεγαλύτερα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου (EIA/ARI, 2013) (Πίνακας 3-33).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Κατανομή αποθεμάτων σχιστολιθικού φυσικού αερίου παγκοσμίως

Η Νότια Αφρική βασίζεται στον άνθρακα για το 70% της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, το 93% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και το 30% των υγρών καυσίμων πετρελαίου, εισάγοντας περίπου τα δύο τρίτα του φ.α. που χρειάζεται. Σύμφωνα με το Ολοκληρωμένο Σχέδιο Πόρων (Integrated Resource Plan) του Υπουργείου Ενέργειας της Νότιας Αφρικής για την περίοδο 2010-2030, η Νότια Αφρική χρειάζεται περισσότερα από 50GW νέας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά δεσμεύτηκε να μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά 34% μέχρι το 2020. Η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στη χώρα, έχει τη δυνατότητα να μειώσει την εξάρτησή της από τον άνθρακα και να ενισχύσει την ενεργειακή της ανεξαρτησία.

Πίνακας 3-33: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στην λεκάνη Karoo στη Νότιο Αφρική (EIA/ARI, 2013).

Basic Data	Basin/Gross Area		Karoo (236,400 mi ²)		
	Shale Formation		Prince Albert	Whitehill	Collingham
	Geologic Age		L. Permian	L. Permian	L. Permian
	Depositional Environment		Marine	Marine	Marine
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		60,180	60,180	60,180
	Thickness (ft)	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		Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.
	Average TOC (wt. %)		2.5%	6.0%	4.0%
	Thermal Maturity (% Ro)		3.00%	3.00%	3.00%
	Clay Content		Low	Low	Low
Resource	Gas Phase		Dry Gas	Dry Gas	Dry Gas
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)		42.7	58.5	36.3
	Risky GIP (Tcf)		385.3	845.4	327.9
	Risky Recoverable (Tcf)		96.3	211.3	82.0

Σημειωτέον, τα μεγαλύτερα εμπόδια για τη λεκάνη Karoo θα είναι η ανάπτυξη υποδομών και η διαθεσιμότητα του νερού (η ονομασία Karoo σημαίνει «διψασμένη γη»). Επί του παρόντος, οι εταιρείες Sasol και Transnet διαθέτουν όλες τις σημαντικές υποδομές αγωγών και δεν υπάρχει κάλυψη στη λεκάνη Karoo. Επιπλέον, υπάρχουν σημαντικές ανησυχίες για τις τοπικές κοινότητες όσον αφορά τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις εργασίες εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου (World Energy Council, 2016).

Το 2010, πέντε ξένες πετρελαϊκές εταιρείες, μεταξύ των οποίων οι Royal Dutch Shell, Falcon Oil & Gas και Bundu Gas & Oil, είχαν υποβάλει αίτηση στον Οργανισμό Πετρελαίου της Νότιας Αφρικής (South Africa's Petroleum Agency) για άδειες έρευνας στη λεκάνη Karoo. Το 2012, η κυβέρνηση θέσπισε ένα μορατόριουμ διάρκειας 18 μηνών για την υδραυλική ρωγμάτωση, με σκοπό να σταθμίσει τις οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις της. Εν τέλει τον Μάρτιο του 2016, περίπου 6 χρόνια μετά την υποβολή των αιτήσεων, η κυβέρνηση δήλωσε ότι η έρευνα του σχιστολιθικού αερίου στη χώρα θα ξεκινήσει το 2018 (Reuters, 2016).

3.7. Ασία

3.7.1. Κίνα

Η Κίνα είναι η πρώτη και η μόνη χώρα στην Ασία που έχει εμπορική παραγωγή σχιστολιθικού αερίου. Η επανάσταση του σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ αύξησε σημαντικά το ενδιαφέρον για την αντίστοιχη ανάπτυξή του στην Κίνα, για την οποία η ενεργειακή ασφάλεια έχει καταστεί βασικό ζήτημα κατά την τελευταία δεκαετία.

Η Κίνα εκτιμάται ότι διαθέτει τα μεγαλύτερα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου παγκοσμίως. Σύμφωνα με την EIA (2013), εκτιμάται ότι τα αρχικά επί τόπου αποθέματα σχιστολιθικού αερίου ανέρχονται σε 4.746 Tcf, με τα 1.115 Tcf να θεωρούνται τεχνικά ανακτήσιμα. Τα εν λόγω αποθέματα σχιστολιθικού αερίου συγκεντρώνονται και κατανέμονται σε επτά λεκάνες: τη λεκάνη Sichuan με 626 Tcf τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα, την Tarim με 216 Tcf, την Junggar με 36 Tcf, την Songliao με 16 Tcf και τις λεκάνες Yangtze Platform, Jiangnan και Subei με 222 Tcf. Οι δύο κύριες λεκάνες σχιστολιθικού αερίου με τις μεγαλύτερες προοπτικές και το μεγαλύτερο δυναμικό αποθεμάτων αποτελούν η Sichuan στα νότια της χώρας και η Tarim στα δυτικά (Εικόνα 3-56 & Πίνακας 3-34).



Εικόνα 3-56: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Κίνα (EIA, 2015).

Πίνακας 3-34: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στην Κίνα (EIA/ARI, 2013)

Basic Data	Basin/Gross Area		Sichuan (74,500 mi ²)			Yangtze Platform (611,000 mi ²)	
	Shale Formation		Qiongzhusi	Longmaxi	Permian	L. Cambrian	L. Silurian
	Geologic Age		L. Cambrian	L. Silurian	Permian	L. Cambrian	L. Silurian
	Depositional Environment		Marine	Marine	Marine	Marine	Marine
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)		6,500	10,070	20,900	3,250	5,035
	Thickness (ft)	Organically Rich	500	1,000	314	500	1,000
		Net	275	400	251	275	400
	Depth (ft)	Interval	10,000 - 16,400	9,000 - 15,500	3,280 - 16,400	10,000 - 16,400	9,000 - 15,500
Average		13,200	11,500	9,700	13,200	11,500	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure		Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Mod. Overpress.	Normal	Normal
	Average TOC (wt. %)		3.0%	3.2%	4.0%	3.0%	3.2%
	Thermal Maturity (% Ro)		3.20%	2.90%	2.50%	3.20%	2.90%
	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)		109.8	162.6	114.1	99.4	147.1
	Risked GIP (Tcf)		499.6	1,146.1	715.2	181.0	414.7
	Risked Recoverable (Tcf)		124.9	286.5	214.5	45.2	103.7

Basic Data	Basin/Gross Area	Tarim (234,200 mi ²)					
	Shale Formation	L. Cambrian	L. Ordovician	M.-U. Ordovician	Ketuer		
	Geologic Age	L. Cambrian	L. Ordovician	M.-U. Ordovician	L. Triassic		
	Depositional Environment	Marine	Marine	Marine		Lacustrine	
Physical Extent	Prospective Area (mi ²)	6,520	19,420	10,450	10,930	15,920	
	Thickness (ft)	Organically Rich	380	300	300	390	400
		Net	240	170	160	240	200
	Depth (ft)	Interval	11,000 - 16,400	10,000 - 16,400	8,610 - 12,670	9,840 - 16,400	9,500 - 16,400
Average		14,620	13,690	10,790	12,180	13,000	
Reservoir Properties	Reservoir Pressure	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	
	Average TOC (wt. %)	2.0%	2.4%	2.1%	2.5%	3.0%	
	Thermal Maturity (% Ro)	2.0%	1.80%	0.90%	2.00%	0.90%	
	Clay Content	Low	Low	Low	Low	Low	
Resource	Gas Phase	Dry Gas	Dry Gas	Assoc. Gas	Dry Gas	Assoc. Gas	
	GIP Concentration (Bcf/mi ²)	77.1	59.8	12.6	85.0	40.5	
	Risked GIP (Tcf)	175.9	377.5	32.8	232.3	161.2	
	Risked Recoverable (Tcf)	44.0	94.4	3.3	58.1	16.1	

Για την εκτίμηση του δυναμικού των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου στην Κίνα έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες ήδη από το 2011. Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη μελέτη που διεξήχθη το 2015 από το Petro China Research Institute of Petroleum Exploration and Development, τα επί τόπου αρχικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου εκτιμώνται ότι κυμαίνονται από 80,45Tcm (2.842 Tcf) έως 144,5 Tcm (5.103 Tcf), και τα τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα από 11.5 Tcm (406 Tcf) έως 36.1Tcm (1.275 Tcf).

Από το 2005, ξεκίνησε η γεωλογική έρευνα και η όρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων στις λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Κίνα και ακολούθως η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου η οποία έλαβε χώρα το 2010 στη λεκάνη Sichuan, με την όρυξη της γεώτρησης W201. Οι εταιρίες China Petroleum και Chemical Corporation (Sinopec) ανέλαβαν την εμπορική αξιοποίηση της λεκάνης σε δύο μέρη, στα βορειοανατολικά κοντά στο Yuanba και στα νοτιοανατολικά κοντά στο Fulin.

Η κινεζική κυβέρνηση με σκοπό να προωθήσει την ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας του σχιστολιθικού αερίου στη χώρα, ανακοίνωσε το 2012 μέσω της Εθνικής Διοίκησης Ενέργειας το πρώτο εθνικό σχέδιο για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου κατά τη διάρκεια του εθνικού οικονομικού σχεδίου 2011-2015. Ο στόχος ήταν να ολοκληρωθεί η εθνική έρευνα για τους σχιστολιθικούς πόρους και η παραγωγή να φτάσει την τιμή των 6,5 Bcm ετησίως έως το 2015. Την περίοδο 2011-2012 με την όρυξη μιας σειράς νέων γεωτρήσεων, η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου έφτασε το 2012 τα 100 Mcm (3,53 Bcf), ενώ με την ανακάλυψη του σχιστολιθικού πεδίου Fuling το 2013, η παραγωγή διπλασιάστηκε. Με την ταχεία παραγωγή των σχιστολιθικών πεδίων Weiyuan, Changning, *Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου*

και Fuling, το 2014 η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Κίνα έφτασε τα 4,9 Bcm (173 Bcf). Δηλαδή επιτεύχθηκε αύξηση κατά 42% σε σχέση με το προηγούμενο έτος, αν και αριθμητικά αυτό το ύψος παραγωγής είναι μικρότερο από το 2% της αντίστοιχης παραγωγής στις ΗΠΑ. Η ετήσια παραγωγή το 2015 ήταν 4,5 Bcm (159 Bcf) και η αθροιστική παραγωγή σχιστολιθικού αερίου υπερέβη τα 6 Bcm (212 Bcf), το οποίο καθιστά την Κίνα τρίτο μεγαλύτερο παραγωγό σχιστολιθικού αερίου παγκοσμίως (Dong, etal., 2016).

Σύμφωνα με το Υπουργείο Χωροταξίας (Ministry of Land and Resources), ο εθνικός στόχος της παραγωγής σχιστολιθικού φ.α. είναι να φθάσει τα 30 Bcm (1059 Bcf) ετησίως έως το 2020, ποσοστό χαμηλότερο από το 10% του επιπέδου παραγωγής στις ΗΠΑ το 2013 και 50% του αρχικού προτεινόμενου επιπέδου πριν από αρκετά χρόνια. Σημειωτέον, η Εθνική Υπηρεσία Ενέργειας της Κίνας (China's National Energy Administration) δήλωσε ότι η παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. θα μπορούσε να φθάσει τα 80-100 Bcm ετησίως έως το 2030.

Τα τεράστια αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στην Κίνα προσέλκυσαν μια σειρά από εταιρείες από όλο τον κόσμο και ειδικά από την Βόρεια Αμερική, όπως οι: Chevron (ΗΠΑ), BP (Ηνωμένο Βασίλειο), Royal Dutch Shell (Ηνωμένο Βασίλειο-Ολλανδία), Total (Γαλλία), και Statoil (Νορβηγία), με σκοπό την είσοδό τους στην κινέζικη αγορά και τη σύσταση κοινοπραξιών με μεγάλες κρατικές εταιρείες (state-owned corporations-SOC), όπως οι CNPC, η Sinopec και η China National Offshore Oil Corporation. Μέχρι το τέλος του 2015, είχαν ορυχθεί συνολικά 800 γεωτρήσεις σχιστολιθικού αερίου, από τις οποίες 400 βρίσκονται σε λειτουργία και έχουν επενδυθεί συνολικά περίπου 30 δισεκατομμύρια RMB (κινεζικό νόμισμα), δηλαδή περίπου 4,5 δισεκατομμύρια USD.

Ωστόσο, η παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου στην Κίνα είναι συνυφασμένη με σειρά προβλημάτων. Η Κίνα αντιμετωπίζει σοβαρές δυσκολίες στην παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου, λόγω των περίπλοκων γεωλογικών συνθηκών. Μέχρι στιγμής, η έρευνα και η όρυξη γεωτρήσεων δεν έχει ξεπεράσει τα 3,500 m βάθος, κυρίως λόγω τριών παραγόντων: τα βάθη των σχιστολιθικών σχηματισμών είναι μεγάλα με πολύπλοκες δομές, τα ατυχήματα κατά την όρυξη των γεωτρήσεων είναι συχνά, τα οποία καθιστούν δύσκολο τον έλεγχο της γεώτρησης και την αποτελεσματική κατά στάδια διέγερση του σχηματισμού, και, τέλος, η πίεση «εισόδου» (breakthrough) του σχηματισμού είναι πολύ υψηλή. Λόγω των ειδικών γεωλογικών συνθηκών, η τεχνολογία της υδραυλικής ρωγμάτωσης απαιτεί 30% περισσότερο νερό από ό,τι στις ΗΠΑ, το οποίο αποτελεί ζωτικό θέμα, καθώς πολλές περιοχές της Κίνας υποφέρουν από έλλειψη νερού. Γενικά, το πρόβλημα της διαθεσιμότητας των υδάτινων πόρων που απαιτούνται για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου είναι οξύτερο στην *Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου*

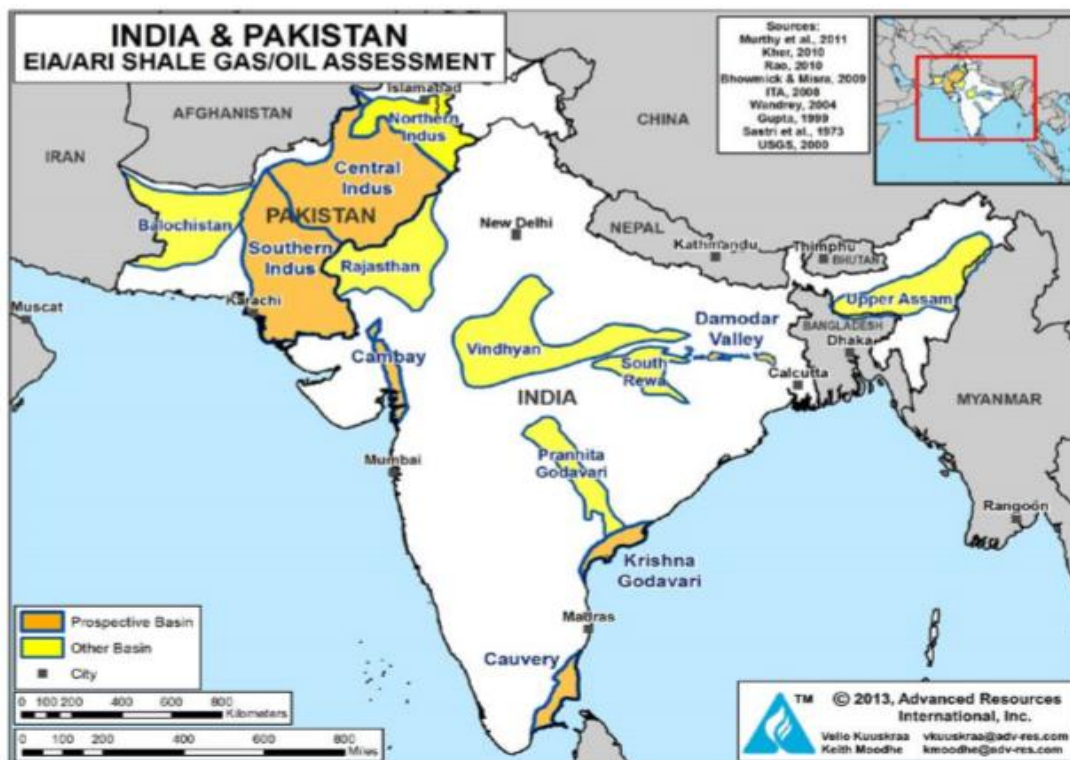
Κίνα, από ό,τι στις ΗΠΑ και η έλλειψη νερού αυξάνεται ιδιαίτερα στις περιοχές όπου τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου είναι πιο άφθονα (Dong, et al., 2016).

Συνεπώς, η παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. στην Κίνα είναι τεχνολογικά πιο περίπλοκη και απαιτεί μεγάλες επενδύσεις. Το κόστος όρυξης μίας γεώτρησης - στην Κίνα κυμαίνεται από 5 έως 12 εκατομμύρια δολάρια, ενώ στις ΗΠΑ είναι περίπου 2,7-3,7 εκατομμύρια δολάρια (Zhiltsov, 2017).

3.7.2. Ινδία και Πακιστάν

Η Ινδία και το Πακιστάν διαθέτουν αρκετές λεκάνες σχιστολιθικού αερίου. Στην Ινδία το ενδιαφέρον συγκεντρώνεται κυρίως στη λεκάνη Cambay στα δυτικά, τη λεκάνη Krishna-Godvari κατά μήκος της ανατολικής ακτογραμμής, τη λεκάνη Cauvery στα νότια και την κοιλάδα Damodar στα βορειανατολικά. Στο Πακιστάν η λεκάνη με τις μεγαλύτερες προοπτικές είναι η Indusπου βρίσκεται στα νοτιανατολικά της χώρας (Εικόνα 3-57).

Σύμφωνα με την EIA/ARI (2013), τα συνολικά επί τόπου αρχικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου και στις δύο χώρες είναι 1.170 Tcf, εκ των οποίων τα 584 Tcf απαντώνται στην Ινδία και τα 586 Tcf στο Πακιστάν. Τα συνολικά τεχνικά ανακτήσιμα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου εκτιμώνται σε 201 Tcf, εκ των οποίων τα 96 Tcf απαντώνται στην Ινδία και τα 105 Tcf στο Πακιστάν (Πίνακες 3-35 & 3-36).



Εικόνα 3-57: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Ινδία και το Πακιστάν (EIA, 2015).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Πίνακας 3-35: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στην Ινδία (EIA/ARI, 2013)

Basic Data	Basin/Gross Area		Cambay (7,900 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)		1,060	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)		35.5	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

Πίνακας 3-36: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και αποθέματα στο Πακιστάν (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

Το 2013, η κρατική εταιρεία υδρογονανθράκων της Ινδίας, η ONGC (Oil and Natural Gas Corporation), ολοκλήρωσε την πρώτη γεώτρηση σχιστολιθικού αερίου στα βορειοδυτικά της Καλκούτα, στη Δυτική Βεγγάλη. Η γεώτρηση ορύχθηκε σε βάθος 2.000m, ενώ προηγουμένως είχαν ορυχθεί δύο κατακόρυφες δοκιμαστικές γεωτρήσεις στη λεκάνη Cambay και είχαν μέτρια παραγωγή σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου από τον σχιστόλιθο Cambay Black Shale.

Τον Απρίλιο του 2016, η ONGC δήλωσε ότι σκοπεύει να επενδύσει ποσό της τάξης των 105 εκατομμυρίων δολαρίων για την όρυξη 17 γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου στις ανατολικές και δυτικές ακτές της χώρας. Πιο συγκεκριμένα, η κρατική

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

εταιρεία επιδιώκει την άδεια για τη διάνοιξη 11 ερευνητικών γεωτρήσεων σχιστολιθικού πετρελαίου και φ.α. στη λεκάνη Cambay, στις περιοχές Mehsana, Ahmedabad και Bharuch του Gujarat, 1 γεώτρηση στη λεκάνη Cauvery στην περιοχή Nagarattinam που βρίσκεται στο Tamil Nadu και 5 γεωτρήσεις στη λεκάνη Krishna-Godvari, στις περιοχές Eastward και West Godavari του Andhra Pradesh.

Η ινδική κυβέρνηση έχει δείξει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την άντληση εγχώριων σχιστολιθικών αποθεμάτων πετρελαίου και φ.α. λόγω της αυξανόμενης κατανάλωσης πετρελαίου στη χώρα. Ο Υπουργός πετρελαίου και φ.α. Dharmendra Pradhan, ο οποίος ανέλαβε καθήκοντα τον Μάιο του 2014, επιθυμεί να διασφαλίσει ότι η χώρα της Νότιας Ασίας θα είναι αυτάρκης σε ενεργειακούς πόρους. Στατιστικά στοιχεία από την BP Review of World Energy (2015) έδειξαν αύξηση κατά 3% της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου στην Ινδία το 2014 (3.846 εκατομμύρια βαρέλια ημερησίως), ενώ η ζήτηση σε φ.α. ήταν περίπου 1.7867 Tcf (Rigzone, 2016).

Το Πακιστάν εντείνει τις προσπάθειές του για να αξιοποιήσει τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου της χώρας. Σε συνέδριο στο Πακιστάν που διοργάνωσε από κοινού το Πανεπιστήμιο Μηχανικών και Τεχνολογίας NED (Πακιστάν) και το Νορβηγικό Πανεπιστήμιο Επιστήμης και Τεχνολογίας (NTNU), ο Υπουργός Πετρελαίου και Φυσικών Πόρων, Shahid Khaqan Abbasi, δήλωσε ότι το Πακιστάν αντιμετωπίζει τεράστιο χάσμα μεταξύ της ζήτησης και παροχής ενέργειας. Οι υπουργοί ανέφεραν ότι η σημερινή συνολική παραγωγή φ.α. του Πακιστάν είναι 4 Bcf/d σε σχέση με τη ζήτηση που ανέρχεται σε 8 Bcf/d και ότι η απαίτηση πετρελαίου είναι επτά έως οκτώ φορές υψηλότερη από την τοπική παραγωγή. Για να βελτιωθεί αυτή η κατάσταση, ο κ. Abbasi δήλωσε ότι η Oil and Gas Development Company Limited (OGDCL) και η Pakistan Petroleum Limited (PPL) έχουν αναλάβει την πρωτοβουλία να ξεκινήσουν ένα πιλοτικό έργο για την εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το Πακιστάν έχει ήδη καταβάλει κάποιες προσπάθειες για να ερευνήσει τους πόρους σχιστολιθικού αερίου. Οι Daily Times του Πακιστάν ανέφεραν ότι, σύμφωνα με επίσημες πηγές του Υπουργείου Πετρελαίου και Φυσικών Πόρων, οι εταιρείες έρευνας πραγματοποίησαν την όρυξη 271 γεωτρήσεων και σε 73 από αυτές εντόπισαν πετρέλαιο και φ.α., ως την 5η Ιουνίου 2013 (Shale Gas International, 2016).

3.7.3. Τουρκία

Η Τουρκία είχε μία από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες οικονομίες στον κόσμο κατά την τελευταία δεκαετία και εξαρτιόταν σε μεγάλο βαθμό από το φ.α. για να καλύψει τη διαρκή αύξηση της ενεργειακής ζήτησης. Η κατανάλωση φ.α. υπερδιπλασιάστηκε από 22,1 Bcm το 2004 σε 48,6 Bcm το 2014. Ως εκ τούτου, η Τουρκία αύξησε σε μεγάλο βαθμό την εξάρτησή της από την εισαγωγή ρωσικού φ.α., η οποία αντικατόπτριζε το 56% περίπου της συνολικής κατανάλωσης φ.α. το 2014.

Οι EIA/ARI έχουν προβεί σε αξιολόγηση δύο λεκανών σχιστολιθικού αερίου στην Τουρκία: της λεκάνης της Νοτιοανατολικής Ανατολίας στη νότια Τουρκία και της λεκάνης της Θράκης στη δυτική Τουρκία (Εικόνα 3-58). Και στις δύο λεκάνες βρίσκονται σε εξέλιξη έρευνες για πετρέλαιο και φ.α. από την τουρκική Εθνική Εταιρεία Πετρελαίου (TPAO) και από διεθνείς εταιρείες. Η Τουρκία μπορεί επίσης να διαθέτει αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στις λεκάνες Sivas και Salt Lake, ωστόσο τα δεδομένα για τις περιοχές αυτές είναι περιορισμένα.



Εικόνα 3-58: Λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Τουρκία (EIA, 2015).

Σύμφωνα με τη μελέτη των EIA/ARI (2013), ο σχιστόλιθος Dadas στη λεκάνη Νοτιοανατολικής Ανατολίας και ο σχιστόλιθος Hamitabat στη λεκάνη της Θράκης περιέχουν

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

163 Tcf επί τόπου αρχικά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου με τα 24 Tcf να θεωρούνται ως τεχνικά ανακτήσιμα (Πίνακας 3-37).

Τον Σεπτέμβριο του 2012, οι εταιρείες ΤΡΑΟ και Royal Dutch Shell ξεκίνησαν εργασίες υδραυλικής ρωγμάτωσης στη γεώτρηση Saribugday-1 στον σχηματισμό Dadas Shale, στη λεκάνη της Ανατολίας, για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου. Ακολούθως, η εταιρεία Anatolia Energy πραγματοποίησε την πρώτη ερευνητική γεώτρηση στον σχηματισμό Dadas Shale, στην περιοχή μίσθωσης Bismil, στις αρχές Ιανουαρίου 2012, ενώ η канаδική εταιρεία Trans Atlantic Petroleum ανέφερε ρέον φ.α. και ελαφρύ πετρέλαιο από δύο δοκιμαστικές γεωτρήσεις στον σχηματισμό DadasShale. Στη λεκάνη της Θράκης, μεγάλο μέρος της δραστηριότητας διεξάγεται από τις ΤΡΑΟ και Trans Atlantic Petroleum, αλλά δεν έχουν ανακοινωθεί πληροφορίες σχετικά με τις γεωτρήσεις σχιστολιθικού αερίου ή τις επιδόσεις των εταιρειών μέχρι στιγμής (Shale Gas International, 2015).

Πίνακας 3-37: Ιδιότητες ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου και εκτιμούμενα αποθέματα στην Τουρκία (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
	Risked GIP (Tcf)		102.4	27.4	1.9	6.2	25.5
	Risked Recoverable (Tcf)		10.2	6.9	0.1	1.2	5.1

Την 17^η Μαΐου 2016, η νορβηγική ενεργειακή εταιρεία Statoil και η канаδική εταιρεία ερευνών Valeura Energy Inc. υπέγραψαν συμφωνία για την έρευνα του δυναμικού σχιστολιθικού αερίου στο ευρωπαϊκό βορειοδυτικό τμήμα της Τουρκίας, στη λεκάνη της Θράκης. Το πρώτο μέρος του προγράμματος περιλαμβάνει την όρυξη ερευνητικής γεώτρησης το 2017 με στόχο την έρευνα σχιστολιθικού αερίου στα βαθιά τμήματα της λεκάνης (East Med Energy, 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής της παραγωγικής γεώτρησης

4.1. Ιστορική εξέλιξη της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α.

Λόγω της εξάντλησης των συμβατικών κοιτασμάτων φ.α. στις Η.Π.Α., οι εταιρίες παραγωγής φ.α. αναγκάστηκαν ολοένα και περισσότερο να πραγματοποιούν γεωτρήσεις σε λιγότερο παραγωγικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Στην αρχή, οι υφιστάμενες γεωτρήσεις επεκτείνονταν κοντά σε συμβατικούς σχηματισμούς ώστε να παράγουν φ.α. από ελαφρώς λιγότερο διαπερατούς σχηματισμούς. Κατά τη σταδιακή αυτή μετατόπιση, ο αριθμός των γεωτρήσεων αυξήθηκε, ενώ η παραγωγή ανά γεώτρηση μειώθηκε. Η έρευνα προχωρούσε σε διαρκώς λιγότερο διαπερατούς σχηματισμούς. Πρόκειται για σχηματισμούς που περιείχαν σχιστολιθικό αέριο, οι οποίοι είναι σχεδόν στεγανοί ή τουλάχιστον λιγότερο διαπερατοί από άλλες δομές που περιέχουν αέριο. Τα μειούμενα αποθέματα συμβατικού φ.α., τα τεράστια αποθέματα μη συμβατικού φ.α. και η εκτεταμένη γεωγραφική τους εξάπλωση που επέτρεπε την όρυξη εκατοντάδων χιλιάδων γεωτρήσεων αποτέλεσαν το έναυσμα για την παραγωγή μη συμβατικού φ.α.

Οι πρώτες δραστηριότητες για την ευρείας κλίμακας παραγωγή σχιστολιθικού αερίου άρχισαν ήδη πριν από δεκαετίες με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού σχηματισμού του Bossier, κατά τη δεκαετία του 1970, και του σχιστολιθικού σχηματισμού του Antrim, κατά τη διάρκεια του 1990. Ωστόσο, ο ρυθμός ανάπτυξης της εξόρυξης μη συμβατικού αερίου παρέμενε σχετικά αργός.

Η ταχεία πρόσβαση σε κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου ξεκίνησε περίπου το 2005 με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού σχηματισμού Barnett, στην πολιτεία του Τέξας. Τότε ο σχηματισμός αυτός έφτασε να παράγει σχεδόν 14 Bcm φ.α. τον χρόνο. Σε διάστημα 5 χρόνων διανοίχτηκαν εκεί περίπου 15.000 γεωτρήσεις. Οι παραγωγοί φ.α. απέκτησαν αυτοπεποίθηση εξαιτίας της δυνατότητας να παράγουν επικερδώς φ.α. από το σχιστολιθικό σχηματισμό Barnett. Επιπλέον, επιβεβαιώνοντας τη δυνατότητα αυτή από αποτελέσματα που είχαν από το σχιστολιθικό σχηματισμό Fayetteville, στο βόρειο Arkansas, άρχισαν να

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής παραγωγικής γεώτρησης

μελετούν και άλλους σχηματισμούς, όπως τους σχηματισμούς Haynesville, Marcellus, Woodford, Eagle Ford κ.ά.

Η ανάπτυξη των κοιτασμάτων σχιστολιθικού αερίου πυροδοτήθηκε από την *τεχνολογική πρόοδο στις οριζόντιες γεωτρήσεις και την υδραυλική ρωγμάτωση* με τη χρήση πρόσθετων χημικών ουσιών. Η οριζόντια γεώτρηση σε συνδυασμό με την εφαρμογή της υδραυλικής πραγμάτωσης βελτίωσαν την ικανότητα των παραγωγών φ.α. να παράγουν επικερδώς φ.α. από σχηματισμούς χαμηλής διαπερατότητας.

Η φάση αυτή ξεκίνησε στη δεκαετία του 1970. Στα μέσα αυτής της δεκαετίας, μια συνεργασία ιδιωτικών επιχειρήσεων, που περιλάμβανε επίσης το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (US DOE) και το Ινστιτούτο Έρευνας Φυσικού Αερίου (US GRI), προσπάθησε να αναπτύξει κατάλληλες τεχνολογίες για την εμπορική παραγωγή φ.α. από το σχετικά ρηχό σχιστολιθικό σχηματισμό Devonian, στις ανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες. Η συνεργασία αυτή σηματοδότησε την ανάπτυξη τεχνολογιών που αποδείχτηκαν με την πάροδο των χρόνων σημαντικές για την παραγωγή φ.α. από τα σχιστολιθικά πετρώματα.

Ωστόσο, οι δοκιμαστικές εφαρμογές της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης για τη διέγερση της παραγωγής φ.α. και πετρελαίου είχαν ξεκινήσει να αναπτύσσονται ήδη από το 1950, με τους πρώτους σχετικούς πειραματισμούς να χρονολογούνται ήδη από τον 19ο αιώνα.

Εκτός από την τεχνολογική καινοτομία της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε συνδυασμό με την οριζόντια γεώτρηση, υπήρχαν και άλλοι παράγοντες που οδήγησαν στην εκμετάλλευση των σχιστολιθικών πετρωμάτων για την παραγωγή φ.α. στις Η.Π.Α. Ένας τέτοιος παράγοντας ήταν οι γεωλογικές γνώσεις που αποκτήθηκαν με την πάροδο των χρόνων. Σε πολλές περιπτώσεις, τα κοιτάσματα μη συμβατικού αερίου συνυπάρχουν με κοιτάσματα συμβατικού φ.α. τα οποία έχουν διερευνηθεί εκτεταμένα. Κατά τα τελευταία 150 χρόνια, οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν αποκτήσει μεγάλη εμπειρία από γεωτρήσεις για πετρέλαιο και φ.α. Αυτό έδωσε στις ΗΠΑ ένα προβάδισμα στην έρευνα πιθανών κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με άλλες χώρες.

Σημαντικό κίνητρο, επίσης, για την παραγωγή μη συμβατικού αερίου στις ΗΠΑ αποτέλεσε η εφαρμογή του νόμου Crude Oil Windfall Profit Tax Act το 1980. Σύμφωνα με το άρθρο 29 του νόμου, εισήχθη φορολογική πίστωση 0,5 USD ανά Mcf παραγωγής φ.α. Αυτή η πίστωση ενθάρρυνε τις εξορυκτικές δραστηριότητες στο κοιτάσμα Antrim, στη λεκάνη του Michigan, και μετά στο κοιτάσμα New Albany, στη λεκάνη Fort Worth του βόρειου Τέξας.

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Αν κι η πίστωση έληξε το 1992, οι παραγωγοί συνέχισαν να επεκτείνουν τα προγράμματα σχιστολιθικού αερίου καθώς η βελτίωση της τεχνολογίας, η καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών που ωθούν την παραγωγή και η αύξηση της λειτουργικής απόδοσης που είχαν συντελεστεί στο διάστημα αυτό βοηθούσαν την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου.

Επιπλέον, σημαντικό ρόλο διαδραμάτισε η εξαίρεση των δραστηριοτήτων υδραυλικής ρωγμάτωσης της βιομηχανίας υδρογονανθράκων από τον Νόμο για το ασφαλές πόσιμο νερό, όπως επικυρώθηκε από τον Νόμο για την ενεργειακή πολιτική του 2005 (EPA, 2005). Στο άρθρο 322 του Νόμου για την ενεργειακή πολιτική του 2005 η υδραυλική ρωγμάτωση εξαιρέθηκε από σημαντικούς κανονισμούς του Οργανισμού Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA). Στα πλαίσια της ενεργειακής πολιτικής, μειώθηκαν οι περιορισμοί στην πρόσβαση σε εκτάσεις γης, δίνοντας στους παραγωγούς μεγαλύτερο κίνητρο για αγορά εκτάσεων για εκμετάλλευση των υπόγειων αποθεμάτων (ALLConsulting, 2009).

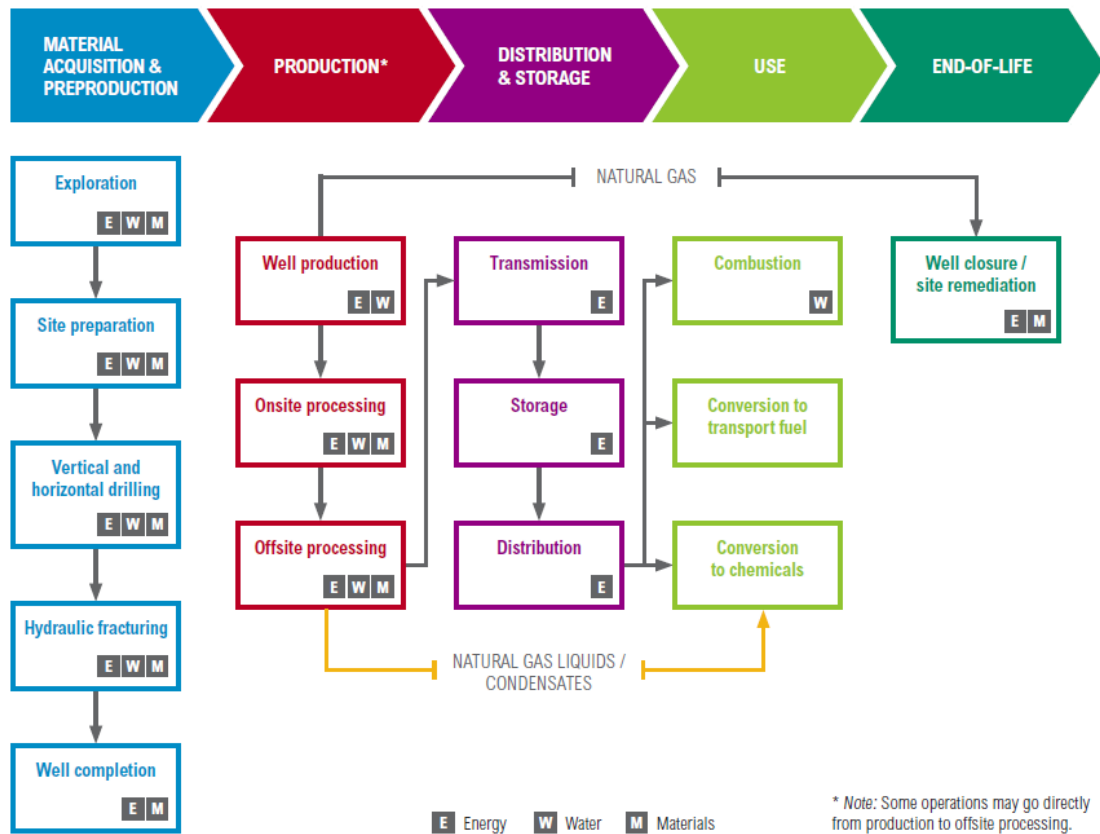
4.2. Κύκλος ζωής γεώτρησης παραγωγής σχιστολιθικού αερίου

Σε αντίθεση με τους συμβατικούς σχηματισμούς που περιέχουν φ.α., ο σχιστόλιθος, όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, έχει πολύ χαμηλή διαπερατότητα η οποία περιορίζει τη ροή του νερού ή του αερίου εντός των πόρων του. Στους σχιστολιθικούς σχηματισμούς, το φ.α. βρίσκεται παγιδευμένο μέσα σε μη συνδεδεμένους πόρους και τις φυσικές ρωγματώσεις. Η *υδραυλική ρωγμάτωση* αποτελεί την τεχνολογία κλειδί, η οποία χρησιμοποιείται για τη σύνδεση αυτών των πόρων του σχιστόλιθου ώστε να επιτραπεί εν τέλει η ροή του αερίου προς τις γεωτρήσεις παραγωγής.

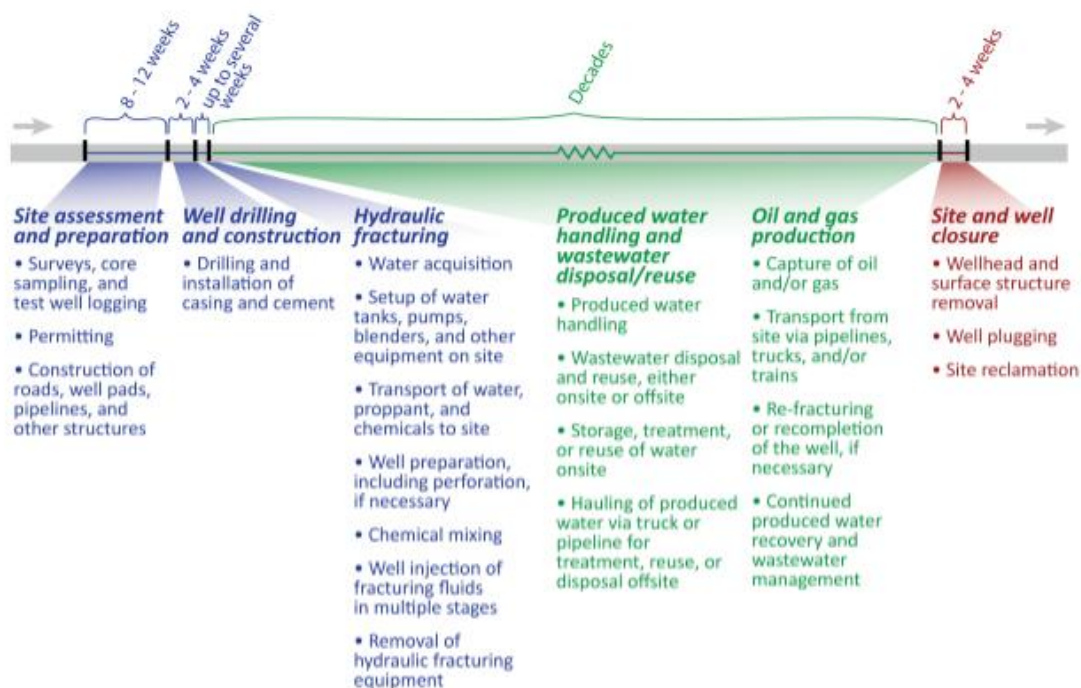
Η διαδικασία παραγωγής του φ.α. από τους σχιστολιθικούς σχηματισμούς, περιλαμβάνει πολλά στάδια, εκτός από την υδραυλική ρωγμάτωση. Ορισμένα εξ αυτών προηγούνται και άλλα έπονται. Κάθε στάδιο περιλαμβάνει μια σειρά από διαδικασίες - βήματα για την υλοποίηση και ολοκλήρωσή του. Ο **συνολικός κύκλος ζωής** του παραγόμενου σχιστολιθικού αερίου περιλαμβάνει τα εξής βασικά στάδια: έρευνα, όρυξη γεωτρήσεων, υδραυλική ρωγμάτωση, παραγωγή αερίου, επεξεργασία παραγόμενου αερίου, μεταφορά - αποθήκευση και τελικές χρήσεις αυτού, κλείσιμο των παραγωγικών εγκαταστάσεων και αποκατάσταση (Εικόνα 4-1). Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται μόνο τα στάδια που σχετίζονται με την παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου (κύκλος ζωής γεώτρησης).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής παραγωγικής γεώτρησης

Στη συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση όλων των βασικών σταδίων του κύκλου ζωής μιας γεώτρησης παραγωγής σχιστολιθικού αερίου, με τις επιμέρους διαδικασίες που περιλαμβάνει κάθε στάδιο, σύμφωνα με την Εικόνα 4-2.



Εικόνα 4-1:Στάδια και επιμέρους διαδικασίες του κύκλου ζωής του παραγόμενου σχιστολιθικού αερίου σύμφωνα με το World Resources Institute (WRI, 2012).



Εικόνα 4-2: Γενικό χρονοδιάγραμμα και σύνοψη των σταδίων και των επί μέρους δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου από μια γεώτρηση (EPA, 2016).

4.2.1. Αξιολόγηση και προετοιμασία της περιοχής της γεώτρησης (well site assessment and preparation)

Το πρώτο στάδιο ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου περιλαμβάνει τις ακόλουθες δραστηριότητες και μπορεί να διαρκέσει αρκετούς μήνες:

- Έρευνα (exploration)
- Αδειοδότηση (permitting)
- Προσπέλαση και διαμόρφωση θέσης γεώτρησης (construction of roads and well pad)

4.2.1.1. Έρευνα

Η επιλογή της κατάλληλης θέσης για την όρυξη των γεωτρήσεων απαιτεί την πρότερη αξιολόγηση μιας σειράς **γεωλογικών (υπεδαφικών)** και **γεωγραφικών (επιφανειακών) δεδομένων**. Για τη συλλογή **γεωλογικών δεδομένων** εκτελείται γεωφυσική έρευνα (geophysical surveys) και δειγματοληψία των επιφανειακών και των υπεδαφικών σχηματισμών, μέσω όρυξης ερευνητικών γεωτρήσεων. Σχετικά δεδομένα παρέχονται επίσης από την εκτέλεση διαγραφιών εντός γεωτρήσεων (well logging)² (EPA, 2016).

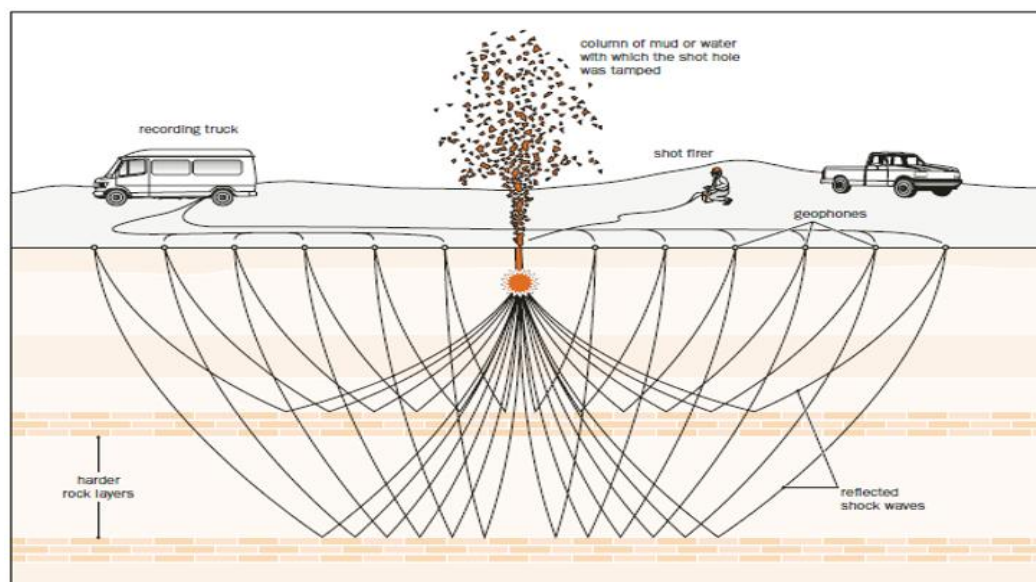
² Οι διαγραφίες εντός γεωτρήσεων (well logging) παρέχουν πληροφορίες για τη μηχανική ακεραιότητα (mechanical integrity) και την απόδοση της γεώτρησης (well performance) και τις ιδιότητες του ταμιευτήρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής παραγωγικής γεώτρησης

Βασική γεωφυσική μέθοδο διασκόπησης του υπεδάφους για τον εντοπισμό σχιστολιθικού αερίου είναι η σεισμική μέθοδος (Εικόνα 4-3). Μέσω της διεξαγωγής των σεισμικών ερευνών, επιτυγχάνεται η χαρτογράφηση της δομής και του πάχους του ταμιευτήρα. Τα σεισμικά δεδομένα μπορεί να είναι 2D, 3D και 4D. Το μοντέλο 4D ενσωματώνει σεισμικά δεδομένα που έχουν ληφθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτό επιτρέπει την εξέταση των αλλαγών στον ταμιευτήρα με την πάροδο του χρόνου. Χρησιμοποιώντας τα σεισμικά δεδομένα, οι πιθανές παγίδες και οι ταμιευτήρες πετρελαίου και φ.α. μπορούν να προσδιοριστούν με βάση τους σχηματισμούς και τους τύπους των πετρωμάτων.

Λόγω της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνει ένας σχιστολιθικός ταμιευτήρας, ο εντοπισμός των κατάλληλων σημείων, τα λεγόμενα «sweet spots», τα οποία υποδεικνύουν την παρουσία αξιοποιήσιμης ποσότητας σχιστολιθικού αερίου είναι αρκετά δύσκολος.

Η συνδυαστική ανάλυση όλων των παραπάνω δεδομένων επιτρέπει την κατανόηση των δυνατικών χαρακτηριστικών του ταμιευτήρα (όπως η διαπερατότητα και η παρουσία φυσικών ρωγμών και νερού, η περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα, η ωριμότητα της οργανικής ύλης, η ορυκτολογία, το ενεργό πάχος του σχιστόλιθου και η ψαθυρότητά του), της στρωματογραφίας των υπεδαφικών σχηματισμών, συμπεριλαμβανομένων των υδροφόρων οριζόντων, καθώς και στοιχεία για την ποσότητα και την ποιότητα των περιεχόμενων σε αυτών υδρογονανθράκων (επί τόπου αρχικά αποθέματα).



Εικόνα 4-3:Σεισμική έρευνα κατά το στάδιο της εξερεύνησης σχιστολιθικού αερίου (Shale Gas in Australia, 2017).

(reservoir properties), οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την παραγωγή υδρογονανθράκων. Οι διαγραφίες από άλλες γεωτρήσεις στην ίδια περιοχή παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για τον ταμιευτήρα.

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Στα απαραίτητα **γεωγραφικά δεδομένα** περιλαμβάνονται η τοπογραφία (topography) και η εδαφοκάλυψη (land cover), η εγγύτητα ως προς υφιστάμενα οδικά δίκτυα, δίκτυα αγωγών, πηγές νερού, ενεργές και εγκαταλειμμένες γεωτρήσεις υδρογονανθράκων, δυναμικό διάβρωσης στη θέση της γεώτρησης (potential for site erosion), η χωροθέτηση σχετικά με περιβαλλοντικά ευαίσθητες και κατοικημένες περιοχές (EPA, 2016).

4.2.1.2. Αδειοδότηση (Permitting)

Πριν τη διαμόρφωση της θέσης όρυξης μιας ή περισσότερων γεωτρήσεων, η εταιρεία θα πρέπει να αιτηθεί προς τις αρμόδιες τοπικές, περιφερειακές και εθνικές αρχές για να λάβει τις απαραίτητες άδειες που προβλέπονται από την ισχύουσα νομοθεσία. Οι έρευνες που εκτελέστηκαν, εκτελούνται ή πρόκειται να εκτελεστούν, ο σχεδιασμός των γεωτρήσεων καθώς και άλλες τεχνικές πληροφορίες, αλλά και γενικές και ειδικές περιβαλλοντικές μελέτες (χρήση, άντληση νερού και διαχείριση χημικών ουσιών) αποτελούν συνήθη προαπαιτούμενα για τη χορήγηση των εν λόγω αδειών.

4.2.1.3. Προσπέλαση και διαμόρφωση θέσης γεώτρησης (construction of roads and Well Pad)

Μετά τη χορήγηση των απαραίτητων αδειών, το επόμενο βήμα αφορά στην κατασκευή των απαραίτητων δρόμων προσπέλασης στο χώρο της γεώτρησης. Πριν την έναρξη όρυξης της γεώτρησης απαιτείται, επίσης, η κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας έδρασης του γεωτρυπάνου (well pad), η κατασκευή των λιμνών συγκράτησης και των δεξαμενών αποθήκευσης νερού, η διαμόρφωση των χώρων φόρτωσης και εκφόρτωσης, η κατασκευή των απαραίτητων σωληνώσεων και των διατάξεων άντλησης και ελέγχου (Argonne National Laboratory, 2013) (Εικόνα 4-4). Η προετοιμασία ενός well pad περιλαμβάνει καθαρισμό και ισοπέδωση αρκετών στρεμμάτων γης. Το μέγεθός του εξαρτάται από το βάθος και τον αριθμό των γεωτρήσεων που πρέπει να ορυχθούν στην περιοχή (Zendehboudi&Bahadori, 2016). Στην περίπτωση του σχιστολιθικού αερίου, τα well pads είναι συνήθως μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα για την εκμετάλλευση του συμβατικού φ.α. και καταλαμβάνουν έκταση 2 έως 3 εκτάρια (στις γεωτρήσεις συμβατικού φ.α. καταλαμβάνουν έκταση 0,5 έως 1 εκταρίου) (Council of Canadian Academies, 2014).



Εικόνα 4-4: Χώρος όρυξης γεώτρησης στον Καναδά με τον απαραίτητο εξοπλισμό για την εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης (Council of Canadian Academies, 2014).

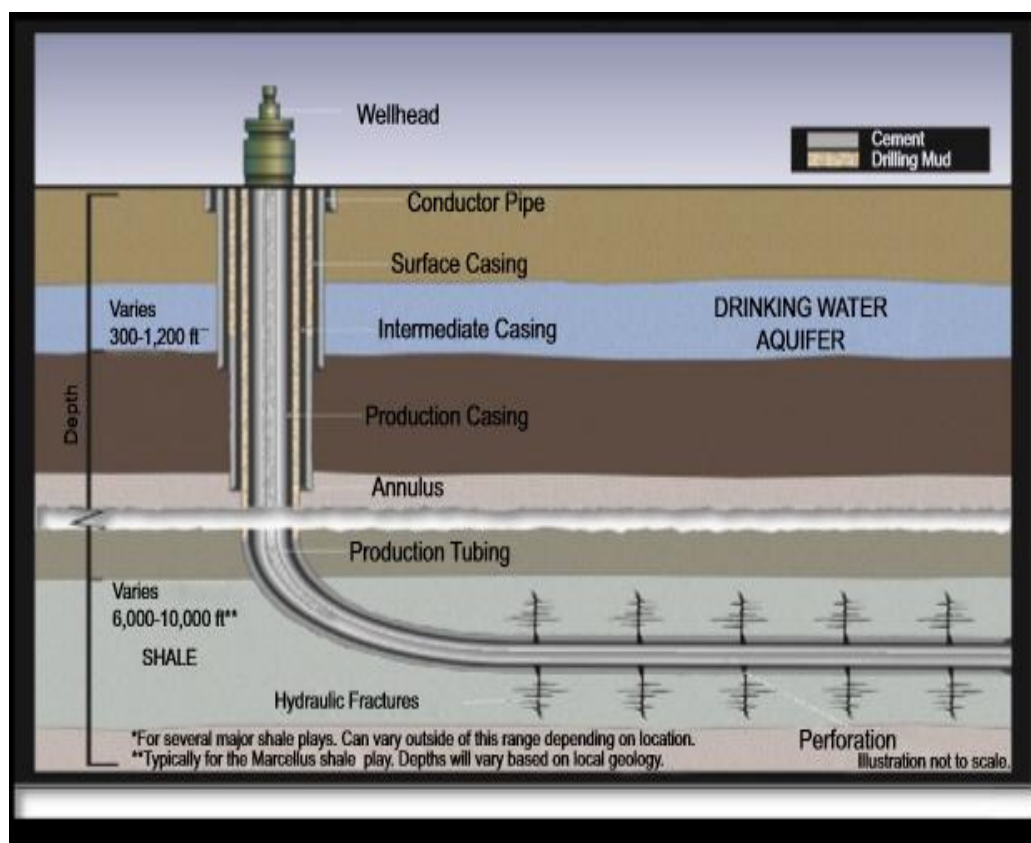
Στην Εικόνα 4-4 παρουσιάζεται ο απαραίτητος εξοπλισμός για την εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Οι αριθμοί αντιστοιχούν στις ακόλουθες δραστηριότητες: (1) Φορητό όχημα δεδομένων / δορυφορικής σύνδεσης (*data/satellite van*): Παρακολούθηση και έλεγχος των δεδομένων προς επεξεργασία / Δορυφορική μετάδοση δεδομένων για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο από απομακρυσμένες τοποθεσίες. (2) Σιλό αποθήκευσης άμμου, μεταφορείς άμμου: για την αποθήκευση της άμμου και τη διοχέτευσή της στη γεώτρηση. (3) Πολλαπλές σωληνώσεις. (4) Μονάδες άντλησης: Αντλίες υψηλής πίεσης για την άντληση του ρευστού ρωγμάτωσης. (5) Οχήματα και δεξαμενές: Συστήματα αποθήκευσης, μεταφοράς και μέτρησης που χρησιμοποιούνται για τη τροφοδοσία των πρόσθετων ουσιών στο ρεύμα του ρευστού που διοχετεύεται για την υδραυλική ρωγμάτωση. (6) Εξοπλισμός δοκιμής: Λαμβάνεται και μετράται η ροή του νερού με ελεγχόμενο τρόπο. Ο εξοπλισμός χρησιμοποιείται επίσης για τον διαχωρισμό των ρευστών από το παραγόμενο αέριο. (7) Δεξαμενές υπερχειλίσης: Δεξαμενές για την αποτροπή των υπερπίεσεων και για την παροχή ομαλής παροχής νερού στη διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης.

4.2.2. Όρυξη γεώτρησης (well drilling)

4.2.2.1. Οριζόντια διάτρηση (horizontal drilling and pad drilling)

Τα περισσότερα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου βρίσκονται σε βάθη 6.000 ft ή και περισσότερο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, το πάχος τους είναι σχετικά μικρό, ενώ καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση (ως προς την οριζόντια διεύθυνση). Για παράδειγμα, ο σχιστολιθικός σχηματισμός Marcellus στις Ηνωμένες Πολιτείες έχει πάχος μεταξύ 50 και 200 ft, ανάλογα με την τοποθεσία. Η αποδοτική εξόρυξη του φ.α. από τον σχιστόλιθο επιτυγχάνεται με τη χρήση της **οριζόντιας γεώτρησης (horizontal well)**, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-5 (Zendehboudi&Bahadori, 2016). Η οριζόντια γεώτρηση αποτελεί μια τεχνική, η οποία επιτρέπει στη γεώτρηση (wellbore) να έρθει σε επαφή με σημαντικά μεγαλύτερο μέρος του παραγωγικού σχηματισμού, από ό,τι θα ήταν εφικτό με μια κατακόρυφη γεώτρηση. Ως αποτέλεσμα της αυξημένης επαφής με το πέτρωμα που περιέχει το υπό παραγωγή ρευστό μπορεί να αυξηθεί ο ρυθμός παραγωγής και ο συντελεστής απόληψης (Speight J. G., 2017).

Η τεχνική της οριζόντιας γεώτρησης περιλαμβάνει αρχικά την όρυξη ενός κατακόρυφου τμήματος της γεώτρησης, μέχρι το κοπτικό άκρο να φτάσει σε απόσταση 900 ft από τον σχιστολιθικό σχηματισμό. Στο σημείο αυτό, πραγματοποιείται αντικατάσταση του κοπτικού άκρου με ένα κατευθυνόμενο κοπτικό με σκοπό τη δημιουργία μιας βαθμιαίας καμπύλης γωνίας 90 μοιρών (gradual 90-degree curve), έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η όρυξη ενός καμπύλου τμήματος της γεώτρησης βαθμιαία αυξανόμενης κλίσης μέχρι η τροχιά της γεώτρησης να γίνει οριζόντια καθώς προσεγγίζει το βέλτιστο βάθος μέσα στον σχιστόλιθο. Στη συνέχεια, η γεώτρηση θα ακολουθήσει οριζόντια τον σχιστόλιθο για κάποιες χιλιάδες πόδια (η οριζόντια μετατόπιση συνήθως φτάνει τα 5000 ft, αλλά μπορεί να κυμαίνεται από τα 2000ft έως τα 10000ft) (Speight J. G., 2017).

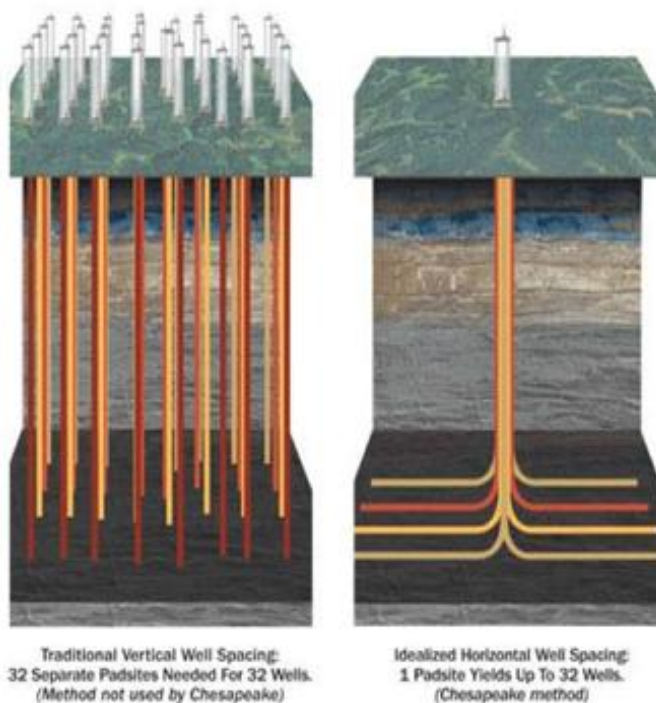


Εικόνα 4-5: Απεικόνιση κατακόρυφης και οριζόντιας γεώτρησης, και υδραυλικής ρωγμάτωσης του σχιστόλιθου (Zendehboudi & Bahadori, 2016).

Ως αποτέλεσμα οι πολλαπλές οριζόντιες γεωτρήσεις (multiple horizontal wells) εξασφαλίζουν την προσπέλαση σε διαφορετικά μέρη του σχηματισμού. Μια καινοτομία που αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια επιτρέπει ένας μεγάλος αριθμός οριζόντων γεωτρήσεων να ορύσσονται από μία και μόνο θέση γεωτρύπανου (*drilling pad*). Κατ' αυτόν τον τρόπο, η οριζόντια γεώτρηση μειώνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα (environmental foot print) των εργασιών όρυξης, επιτρέποντας την πρόσβαση σε μία μεγάλη περιοχή του σχηματισμού από ένα μόνο γεωτρύπανο (Εικόνα 4-6).

Όταν πολλαπλές γεωτρήσεις ορύσσονται από την ίδια θέση γεωτρύπανου (pad), τότε η τεχνική αυτή αναφέρεται συχνά ως *pad drilling*. Από το ίδιο pad ορύσσονται συνήθως 6-8 γεωτρήσεις. Το πλεονέκτημα του pad drilling είναι ότι πολλαπλές γεωτρήσεις μπορούν να ορυχθούν σε συντομότερο χρόνο από την ίδια θέση σε σχέση με μία μόνο γεώτρηση. Η μετακίνηση ενός γεωτρύπανου μεταξύ δύο θέσεων γεωτρήσεων (drilling rig mobility) απαιτεί την αποσυναρμολόγηση του γεωτρύπανου (rigging down) και την επανασυναρμολόγηση του στη νέα θέση (rigging up), ακόμα και αν η νέα τοποθεσία βρίσκεται σε μικρή απόσταση (μερικές γιάρδες). Το drilling pad μπορεί να έχει 5-10

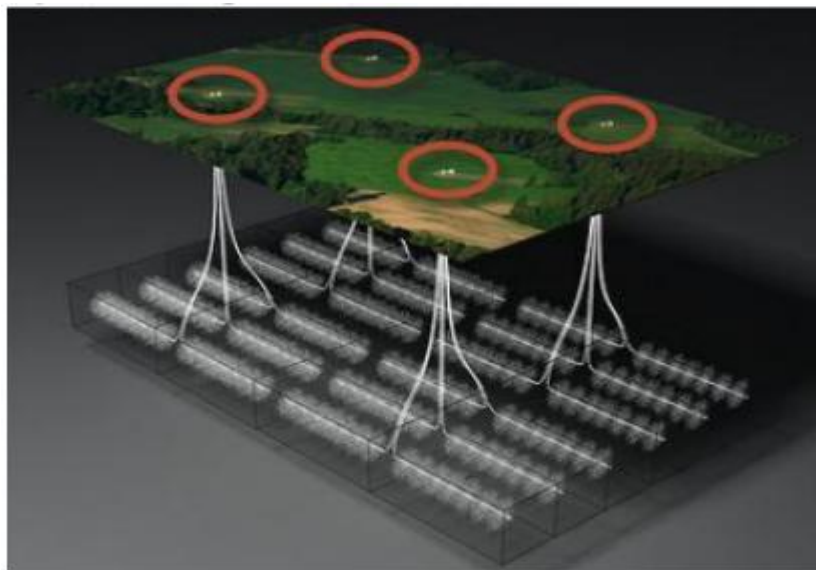
γεωτρήσεις, οι οποίες έχουν ορυχθεί οριζόντια σε διαφορετικές κατευθύνσεις, σε απόσταση μεταξύ τους αρκετά κοντά στην επιφάνεια.



Εικόνα 4-6: Το pad drilling επιτρέπει την όρυξη πολλαπλών οριζόντιων γεωτρήσεων από την ίδια θέση του γεωτρύπανου έναντι των παραδοσιακών κατακόρυφων γεωτρήσεων.

Οι γεωτρήσεις που ορύσσονται με την τεχνική του pad drilling αποστραγγίζουν τα ρευστά του ταμειυτήρα που περιλαμβάνονται σε μία ορθογώνια επιφάνεια (γνωστή και ως spacing unit) που έχει μέγεθος 1,5 μιλίου σε πλάτος και 2 μιλίων σε μήκος, όπου η θέση του γεωτρύπανου τοποθετείται στο κέντρο της επιφάνεια αυτής (Εικόνα 4-7).

Ο χώρος για το well pad πρέπει να καθαριστεί και να επιπεδωθεί για να φιλοξενήσει τα γεωτρύπανα, φορτηγά και όλον τον απαραίτητο εξοπλισμό για την όρυξη και την ολοκλήρωση της γεώτρησης. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας του ορθογωνίου δεν απαιτείται ολόκληρο για το well pad και έτσι θα μείνει εντελώς ανέπαφο. Η προσέγγιση αυτή προσφέρει την δυνατότητα στην εταιρεία διάνοιξης, να αναπτύξει ταυτόχρονα δύο διαφορετικούς σχηματισμούς σε δύο ξεχωριστές μονάδες αποστάσεις (spacing units), αυξάνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της παραγωγής του φ.α., μειώνοντας ταυτόχρονα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην επιφάνεια και επιτρέποντας παράλληλα στην εταιρεία να ανακτήσει περισσότερα από τα διαθέσιμα αποθέματα φ.α. που υπάρχουν στον ταμειυτήρα (Speight J. G., 2017).

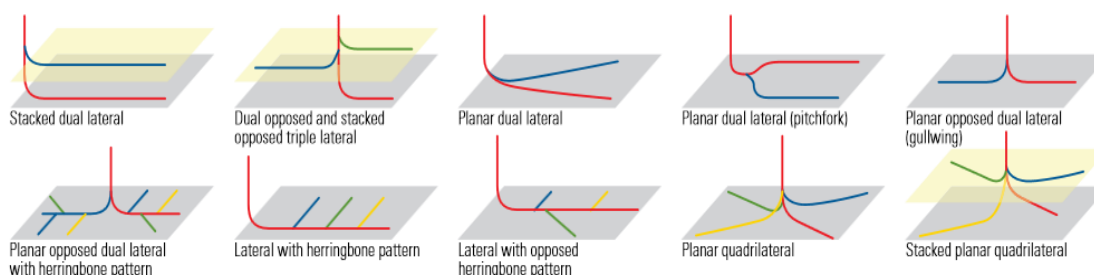


Εικόνα 4-7: Αποστράγγιση των ρευστών του σχιστολιθικού ταμιευτήρα με την εφαρμογή της τεχνικής padd rilling (EIA, 2012).

4.2.2.2. Stacked lateral drilling και multilateral drilling

Οι οριζόντιες γεωτρήσεις ξεκινάνε από την επιφάνεια ως κατακόρυφες γεωτρήσεις έως ότου το κοπτικό άκρο να βρίσκεται κάποιες εκατοντάδες πόδια πάνω από τον επιθυμητό σχηματισμό. Στο σημείο αυτό αρχίζει το καμπύλο τμήμα της τροχιάς, το οποίο εξελίσσεται πλευρικά του κατακόρυφου τμήματος, μέχρι η γεώτρηση να εισέλθει στον σχηματισμό όπου και συνεχίζει οριζόντια. Από το κατακόρυφο τμήμα της γεώτρησης είναι δυνατό, ωστόσο, να ορυχθούν περισσότερα του ενός πλευρικά καμπυλόγραμμα τμήματα (lateral drilling).

Ανάλογα με τη μορφή της τροχιάς και της κατεύθυνσής τους στο χώρο οι πλευρικές γεωτρήσεις διακρίνονται σε διάφορους τύπους (Εικόνα 4-8).



Εικόνα 4-8: Τύποι πλευρικών γεωτρήσεων (lateralwells) που ορύσσονται από μια κατακόρυφη γεώτρηση (von Flatern, 2016).

Στην περίπτωση της εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου οι συνήθεις τύποι πλευρικών γεωτρήσεων που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- *Stacked lateral wells*. Είναι πλευρικές γεωτρήσεις που βρίσκονται στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο και χρησιμοποιούνται όταν το πάχος του σχηματισμού είναι αρκετά μεγάλο ή για την προσέγγιση στρωμάτων σχιστολίθου που βρίσκονται σε στρώσεις το ένα επάνω από το άλλο. Μια κατακόρυφη γεώτρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει φ.α. ή πετρέλαιο από stacked lateral οριζόντιες γεωτρήσεις που ορύσσονται σε διαφορετικά βάθη. Μια περιοχή στην οποία χρησιμοποιείται η εν λόγω τεχνική είναι στους σχηματισμούς Pensall και EagleFord στο Νότιο Τέξας. Όπως και στο pad drilling, μειώνεται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα στην επιφάνεια λόγω της περιορισμένης κατάληψης γης. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να καταστεί ιδιαίτερα χρήσιμη και αποδοτική στους σχιστολιθικούς σχηματισμούς μεγάλου πάχους.
- *Multilateral wells*. Περιλαμβάνει την όρυξη δύο ή περισσότερων οριζόντιων τμημάτων από το ίδιο κατακόρυφο τμήμα της γεώτρησης τα οποία ωστόσο, δεν διέρχονται από το ίδιο κατακόρυφο επίπεδο (έχουν διαφορετικό προσανατολισμό στο χώρο - διαφορετικό αζιμούθιο). Με την πολλαπλή όρυξη, οι οριζόντιες γεωτρήσεις διατρέχουν διαφορετικές περιοχές του σχηματισμού, στο ίδιο βάθος ή και σε διαφορετικό βάθος, αλλά σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Η όρυξη πολλαπλών γεωτρήσεων καθιστά εφικτή την σημαντική αύξηση του ρυθμού παραγωγής με ένα σχετικά μειωμένο κόστος..

Οι πολλαπλές γεωτρήσεις μπορούν να ορυχθούν τόσο σε νέες όσο και σε υφιστάμενες γεωτρήσεις φ.α. ή πετρελαίου. Μία τυπική εγκατάσταση πολλαπλών γεωτρήσεων περιλαμβάνει δύο πλευρικές γεωτρήσεις, ενώ ο αριθμός των πλευρικών γεωτρήσεων θα καθοριστεί από τον αριθμό των σχηματισμών - στόχων, το βάθος της γεώτρησης, την πίεση του σχηματισμού και παραμέτρους σχετιζόμενες με τον σχεδιασμό και την όρυξη της γεώτρησης (Spreight J. G., 2017).

4.2.3. Σωλήνωση γεώτρησης (well casing)

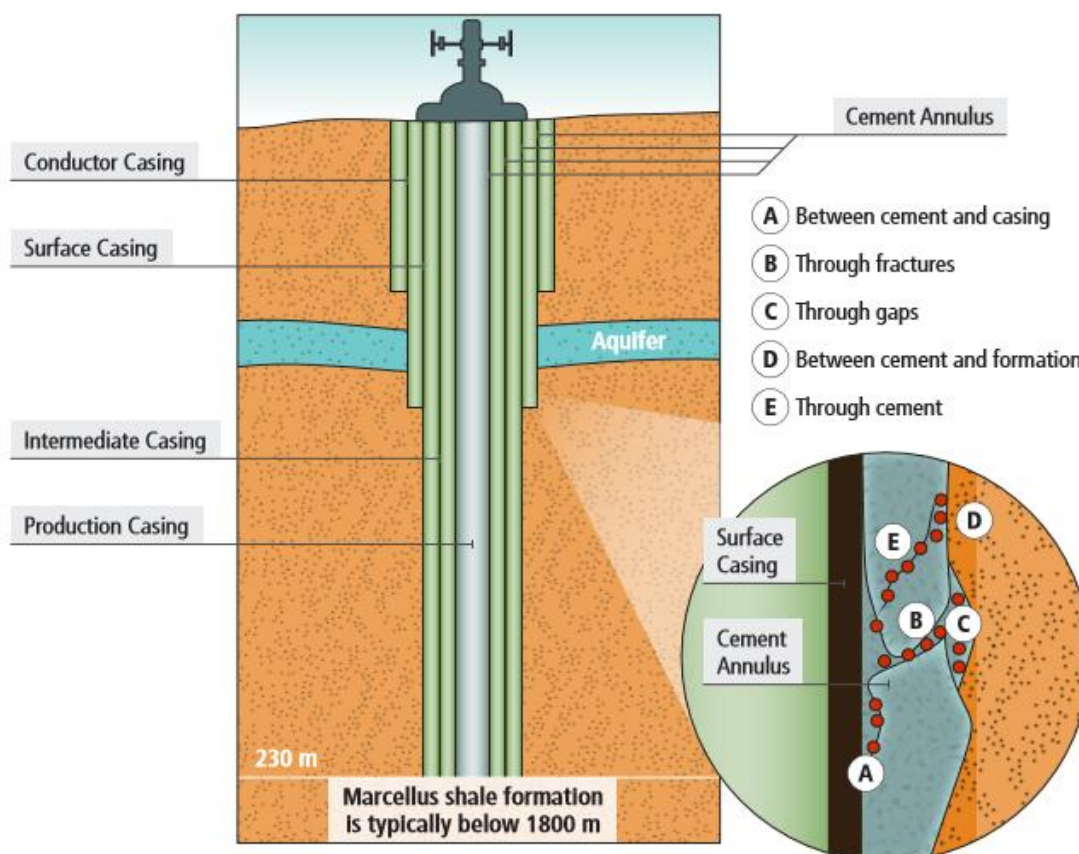
Το Αμερικανικό Ινστιτούτο Πετρελαίου (American Petroleum Institute) αναφέρει ότι «ο στόχος του σχεδιασμού της γεώτρησης είναι η διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος και της ασφαλούς παραγωγής υδρογονανθράκων, μέσω της συγκράτησης των μέσων στη γεώτρηση, της προστασίας των υπόγειων υδάτων, της απομόνωσης των παραγωγικών

σχηματισμών από τους άλλους σχηματισμούς και με την ορθή εκτέλεση της υδραυλικής ρωγμάτωσης και άλλων τεχνικών διέγερσης των ταμιευτήρων» (EPA, 2011). Η γεώτρηση επενδύεται με επάλληλες στήλες χαλύβδινων σωλήνων (σωλήνωση) που περιβάλλονται από τσιμέντο. Η σωλήνωση πρέπει να είναι σε θέση να αντέξει τις δυνάμεις θλίψης, εφελκυσμού και κάμψης (compressive, tensional, and bending forces) που ασκούνται καθώς και τις πιέσεις σύνθλιψης και διάρρηξης (collapse and burst pressures) που μπορεί να αναπτυχθούν κατά τη διάρκεια των διαφορετικών φάσεων της ζωής της γεώτρησης (API Energy, 2009).

Σε διάφορα στάδια της όρυξης της γεώτρησης, η διάτρηση σταματά και κατάλληλη σωλήνωση τοποθετείται στη γεώτρηση. Ακολουθώς, τσιμέντο εισπιέζεται στον δακτύλιο (annulus) - κενό χώρο - ανάμεσα στην εξωτερική επιφάνεια της σωλήνωσης και τον περιβάλλοντα σχηματισμό (τσιμέντωση). Πέρα από τη συγκράτηση των τοιχωμάτων της γεώτρησης, η σωλήνωση έχει ως κύριο σκοπό την απομόνωση και την προστασία των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων και την αποτροπή διαρροής του παραγόμενου φ.α. διαμέσω της γεώτρησης σε άλλους σχηματισμούς, καθώς και στην πρόληψη της διαφυγής του παραγόμενου φ.α. μέσω του δακτυλίου της γεώτρησης (Argonne National Laboratory, 2013).

Η σωλήνωση είναι μία από τις σημαντικές φάσεις στη διαδικασία όρυξης μιας γεώτρησης και εκτελείται κατά στάδια, όσο αυξάνει το βάθος διάτρησης. Όσο προχωράει η διάτρηση, τα κοπτικά άκρα αντικαθίστανται διαδοχικά με αντίστοιχα μικρότερης διαμέτρου. Διακρίνουμε τους εξής τύπους σωλήνωσης (Εικόνα 4-9) που περιλαμβάνει κάθε γεώτρηση:

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



Εικόνα 4-9: Σχηματική απεικόνιση της σωλήνωσης και τσιμεντώσης στη γεώτρηση στο σχηματισμό Marcellus

Η πρώτη στήλη σωλήνωσης που τοποθετείται μέσα στη γεώτρηση είναι η σωλήνωση επαφής, σε βάθος λίγων εκατοντάδων μέτρων από την επιφάνεια εντός των χαλαρών σχηματισμών. Διαθέτει τη μεγαλύτερη διάμετρο εκ των τεσσάρων σωληνώσεων, η οποία κυμαίνεται από 16 έως 20 in και χρησιμεύει ώστε να προλαμβάνει την αποκόλληση των χαλαρών σχηματισμών στην επιφάνεια εντός της γεώτρησης, να απομονώνει τους υδροφόρους ορίζοντες που βρίσκονται σε μικρό βάθος και να προστατεύει τη γεώτρηση από εκλύσεις αερίων. Μόλις τοποθετηθεί η σωλήνωση, ακολουθεί η τσιμεντώση της η οποία παρέχει μέγιστη σταθερότητα και προστατεύει την γεώτρηση από οποιοδήποτε ρηχό υδροφόρο ορίζοντα.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η όρυξη και η εγκατάσταση της επιφανειακής σωλήνωσης. Η επιφανειακή σωλήνωση έχει μήκος από μερικές εκατοντάδες ft έως 2000 ft, ενώ έχει μικρότερη διάμετρο από τη σωλήνωση επαφής. Ο πρωταρχικός σκοπός της επιφανειακής σωλήνωσης είναι να προστατεύσει να μην μολυνθούν τα αποθέματα γλυκού νερού που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια από τυχόν διαρροή υδρογονανθράκων ή αλμυρού νερού

από τα βαθύτερα στρώματα. Επίσης, χρησιμεύει και ως οδηγός για τη λάσπη (χρησιμοποιείται κατά τη διάτρηση) που επιστρέφει στην επιφάνεια ενώ συντελεί στην προστασία της οπής που διανοίχθηκε από τυχόν καταστροφή κατά τη διάρκεια της διάτρησης.

Μετά την τσιμεντώση της επιφανειακής σωλήνωσης, εγκαθίσταται ο μηχανισμός πρόληψης εκρήξεων (blowout preventer). Ο μηχανισμός αποτροπής εκρήξεων είναι μια σειρά από βαλβίδες και παρεμβύσματα (seals) υψηλής πίεσης που είναι προσαρτημένα στην κορυφή της σωλήνωσης για τον έλεγχο της πίεσης της γεώτρησης και την πρόληψη απελευθερώσεων τυχόν ρευστών από το υπέδαφος στην επιφάνεια.

Η όρυξη συνεχίζεται και εν συνεχεία, λαμβάνει χώρα η τοποθέτηση της ενδιάμεσης σωλήνωσης. Η ενδιάμεση σωλήνωση αποτελεί συνήθως το μεγαλύτερο τμήμα της γεώτρησης και χρησιμοποιείται για την απομόνωση των σχηματισμών οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στην όρυξη (ζώνες ανώμαλων πιέσεων, υπόγεια αποθέματα αλμυρού νερού κ.λπ.). Μόλις ολοκληρωθεί το στάδιο της ενδιάμεσης σωλήνωσης, λαμβάνει χώρα το στάδιο σταδιακής παρέκλισης από την κατακόρυφο, το λεγόμενο Kick Off Point (KOP).

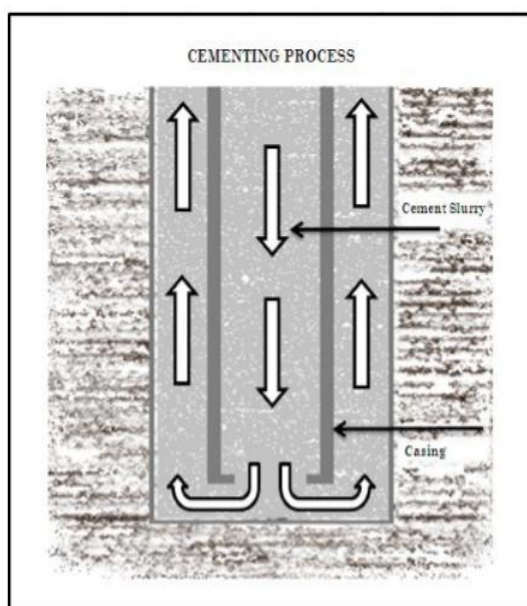
Τέλος, μετά την τσιμεντώση της ενδιάμεσης σωλήνωσης, διανοίγεται το τελικό τμήμα της γεώτρησης και η τοποθέτηση της παραγωγικής σωλήνωσης. Η παραγωγική σωλήνωση εκτείνεται σε όλο το μήκος του κεκλιμένου τμήματος της γεώτρησης και στοχεύει στην απομόνωση των παραγωγικών ζωνών (production zones) από άλλους σχηματισμούς. Η διάμετρός της κυμαίνεται από 5 έως 6 inches. Συνήθως, η παραγωγική σωλήνωση δεν είναι πλήρως τσιμεντωμένη (όπως συμβαίνει με τα υπόλοιπα τμήματα σωληνώσεων), πράγμα που σημαίνει ότι το τσιμέντο δεν επιστρέφει στην επιφάνεια. Προτείνεται από το API, η τσιμεντώση (tail cement) να φτάνει τουλάχιστον 500 ft πάνω από τον υψηλότερο σχηματισμό όπου πρόκειται να λάβει χώρα η υδραυλική ρωγμάτωση (NaturalGas.org, 2013) (The Royal Society, The Royal Academy of Engineering, 2012) (WPI, 2013).

4.2.4. Τσιμεντώση γεώτρησης (well cementing)

Η σωστή τσιμεντώση αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της διασφάλισης της επιτυχούς ακεραιότητας της γεώτρησης. Το API επισημαίνει ότι «το τσιμέντο αποσκοπεί στο να απομονώσει πλήρως την γεώτρηση (wellbore) από τους γύρω γεωλογικούς σχηματισμούς, να προστατεύσει την σωλήνωση από την έκθεση σε ρευστά του σχηματισμού και να παρέχει στη σωλήνωση πρόσθετη αντοχή». Η αντοχή του τσιμέντου και η συμβατότητά του με το

σχηματισμό και τα ρευστά που συναντώνται είναι σημαντικά στοιχεία για τη διατήρηση της μηχανικής ακεραιότητας καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της γεώτρησης. Για να επιτευχθεί αυτή η ολική απομόνωση, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο κατάλληλος τύπος τσιμέντου.

Μετά από την τοποθέτηση κάθε τμήματος της σωλήνωσης, ακολουθεί η τσιμεντώσή του. Η τσιμεντώση αφορά το τμήμα του δακτυλίου μεταξύ του εξωτερικού τμήματος της σωλήνωσης και των τοιχωμάτων της γεώτρησης. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισπίεση υγρού τσιμέντου, γνωστού και ως *πολφού*, κατά μήκος της εκάστοτε σωλήνωσης, η οποία πρόκειται να τσιμεντωθεί. Στη συνέχεια ωθείται προς τα πάνω μέσα από το δακτύλιο ανάμεσα από την σωλήνωση και τη γεώτρηση μέχρι του προκαθορισμένου ύψους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-10. Αυτή η μέθοδος αναφέρεται ως η κύρια τσιμεντώση (*primary cementing*) και μπορεί να εκτελεστεί ενιαία (*continuous cementing*) ή κατά στάδια (*staged cementing*).

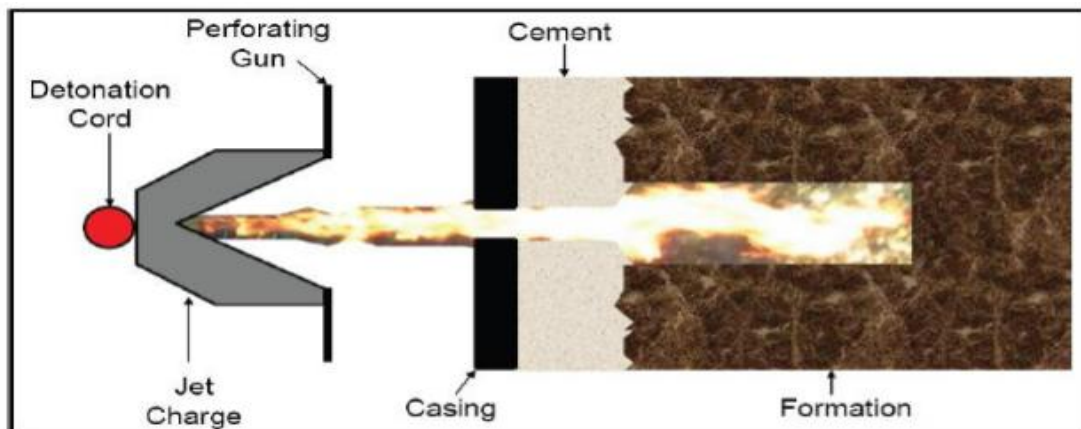


Εικόνα 4-10: Διαδικασία τσιμεντώσης (WPI, 2013).

4.2.5. Περιμετρική διατρύπηση σωλήνωσης και τσιμεντώσης (*perforating*)

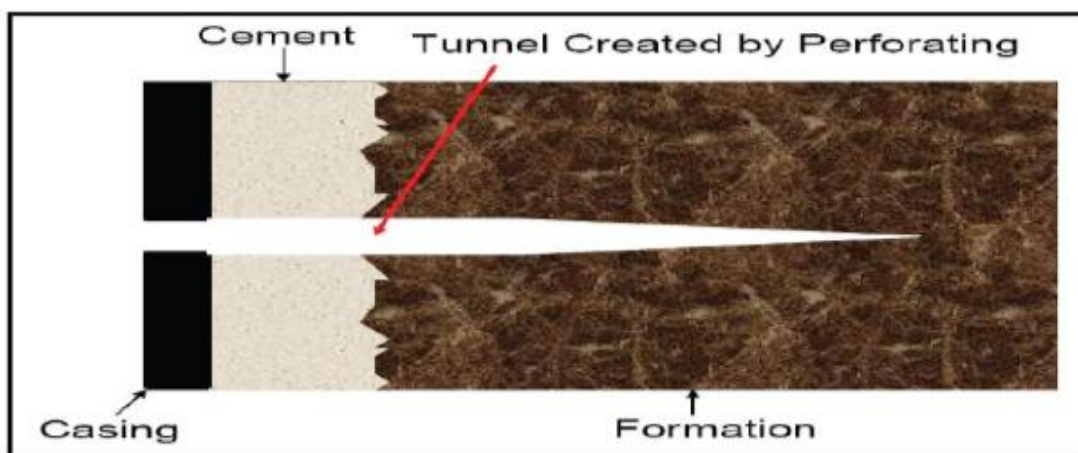
Προκειμένου να εξαχθεί το φ.α., το οποίο βρίσκεται παγιδευμένο στους σχιστολιθικούς σχηματισμούς, απαιτείται να δημιουργηθεί ένα «μονοπάτι», ώστε το φ.α. να οδηγηθεί από το πέτρωμα στην παραγωγική γεώτρηση. Το πρώτο μέρος αυτής της διαδικασίας, αναφέρεται συνήθως ως *περιμετρική διατρύπηση* (*perforating*). Η πιο συνηθισμένη μέθοδος διατρύπησης χρησιμοποιεί «διατάξεις ειδικού σχήματος, τα οποία περιέχουν εκρηκτική ύλη» για τη δημιουργία οπών στη σωλήνωση, στο τσιμέντο το οποίο περιβάλλει τη σωλήνωση και στον σχιστολιθικό σχηματισμό. Η διατρύπηση που δημιουργείται, μετά την πυροδότηση των

εκρηκτικών, επιτρέπει στο εισπνεζόμενο ρευστό κατά τη διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης να εισέλθει εντός του σχηματισμού και να προκαλέσει τη ρωγμάτωσή του (Εικόνα 4-11).



Εικόνα 4-11: Περιμετρική διάτρηση (perforation) της παραγωγικής σωλήνωσης (WPI, 2013).

Ως αποτέλεσμα, δημιουργείται ένας απομονωμένος διάυλος επικοινωνίας στο σχηματισμό, ο οποίος συνδέει τη ζώνη των υδρογονανθράκων με την παραγωγική σωλήνωση (Εικόνα 4-12) (WPI, 2013).



Εικόνα 4-12: Διάυλος επικοινωνίας μεταξύ του σχηματισμού και της γεώτρησης μετά την εκτέλεση της περιμετρικής διάτρησης (WPI, 2013).

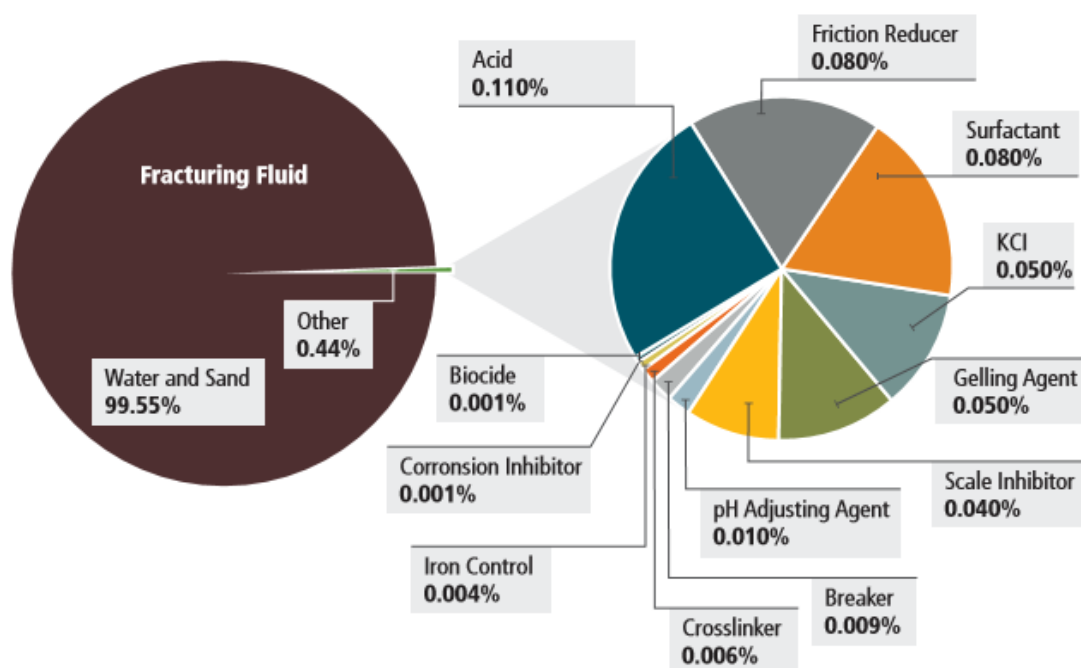
4.2.6. Υδραυλική Ρωγμάτωση (hydraulic fracturing)

Ακόμα και μετά την περιμετρική διατρύπηση της παραγωγικής σωλήνωσης, μόνο μια μικρή ποσότητα φ.α. θα εισέλθει ελεύθερα από τον σχιστόλιθο στη γεώτρηση. Πρέπει να δημιουργηθεί ένα δίκτυο ρωγμών (fracture networks) μέσα στον σχιστόλιθο, έτσι ώστε να επιτραπεί στο φ.α. να διαφύγει από τους πόρους και τις φυσικές ρωγμές, όπου βρίσκεται

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής παραγωγικής γεώτρησης

παγιδευμένο μέσα στο πέτρωμα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της διαδικασίας της υδραυλικής ρωγμάτωσης.

Κατά την εν λόγω διαδικασία, τεράστιες ποσότητες ρευστού, συνήθως κάποια εκατομμύρια γαλόνια, διοχετεύονται με πολύ μεγάλη πίεση μέσα στη γεώτρηση. Το ρευστό αποτελείται από 98-99,5% (w/w) νερό και κάποια πρόσθετα (proppants). Περιέχει επίσης ένα στερεό υλικό, συνήθως άμμο, το οποίο χρησιμοποιείται για τη διατήρηση ανοιχτών των προκαλούμενων ρωγμών, αφότου μειωθεί η πίεση μέσα στον ταμιευτήρα. Το υπόλοιπο ρευστό 2 - 0,5% (κατ' όγκο) αποτελείται από ένα μίγμα χημικών ουσιών, το οποίο ενισχύει τις ιδιότητες του ρευστού. Μια τυπική γεώτρηση στον σχηματισμό Marcellus απαιτεί περίπου 3.800.000 γαλόνια. Το απαιτούμενο νερό μπορεί να προέλθει είτε από το υπέδαφος (πηγές, υδρογεωτρήσεις), είτε από τα επιφανειακά νερά ανάλογα με την περιοχή (EPA, 2011).



Εικόνα 4-13: Σύσταση ρευστού ρωγμάτωσης (Council of Canadian Academies, 2014).

Οι χημικές ουσίες περιλαμβάνουν συνήθως οξέα (acids) προκειμένου να «καθαριστεί» ο σχιστόλιθος και να βελτιωθεί την ροή του φ.α., βιοκτόνα (biocides) για την πρόληψη της ανάπτυξης μικροοργανισμών και το φράξιμο των ρωγμών, αναστολείς διάβρωσης (corrosion and scale inhibitors) για την προστασία της ακεραιότητας της γεώτρησης, κολλοειδείς ουσίες (gels or gums) που αυξάνουν το ιξώδες του ρευστού και αναστέλουν την δράση του πρόσθετου και συστατικά μείωσης τριβής (friction reducers) που ενισχύουν τη ροή και

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής παραγωγικής γεώτρησης

βελτιώνουν την ικανότητα του ρευστού να διεισδύει και να φέρει το πρόσθετο σε μικρές ρωγματώσεις μέσα στο σχιστόλιθο (Speight J. G., 2017).

Οι ουσίες που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον στην υδραυλική ρωγμάτωση παρατίθενται στο Πίνακα 4-1. Πολλές από αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία πετρελαίου για αρκετές δεκαετίες.

Πίνακας 4-1: Κατηγορίες πρόσθετων ουσιών και χημικών συστατικών που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ρωγμάτωση (Council of Canadian Academies, 2014).

Additive Type	Purpose and Description	Common Additives
Water	Fresh water (less than 500 parts per million total dissolved solids)	
Proppant	Maintains fracture openings to allow the flow of gas	Sand Clay or alumina ceramics
Friction Reducer	Reduces friction pressure, which decreases the necessary pump energy and subsequent air emissions	Non-acid form of polyacrylamide Petroleum distillate Mineral oil
Disinfectant (Biocide)	Inhibits the growth of bacteria that can destroy gelled fracture fluids or produce methane-contaminating gases	Glutaraldehyde 2,2-dibromo-3-nitropropionamide

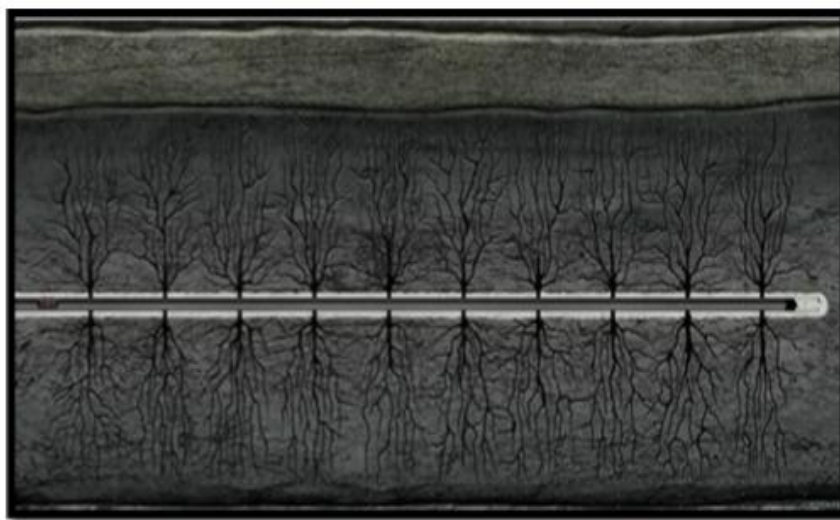
Additive Type	Purpose and Description	Common Additives
Surfactant	Modifies surface and interfacial tension and breaks or prevents emulsions, aiding fluid recovery	Napthalene Methanol Isopropanol Ethoxylated alcohol
Crosslinker	Used for gels that can be either linear or cross-linked. The cross-linked gels have the advantage of higher viscosities that do not break down quickly	Borate salts Potassium hydroxide
Scale Inhibitor	Prevents mineral deposits that can plug the formation	Polymer phosphate esters Phosphonates Ethylene glycol Ammonium chloride
Corrosion Inhibitor	Prevents pipes and connectors rusting	N,N-dimethylformamide Methanol Ammonium bisulphate
Breaker	Introduced at the end of a fracturing treatment to reduce viscosity and release proppants into the fractures and increase the recovery of the fracturing fluid	Peroxydisulphates Sodium Chloride
Clay Stabilization (e.g., KCl)	Prevents the swelling of expendable clay minerals, which can block fractures	Potassium chloride Salts (e.g., tetramethyl ammonium chloride)
Iron Control	Prevents the precipitation of iron oxides	Citric acid
Gelling Agent	Increases the viscosity of the fracturing fluid to carry more proppant into fractures	Guar gum Cellulose polymers (hydroxyethyl cellulose) Petroleum distillates
pH Adjusting Agent	Adjusts/controls the pH to enhance the effectiveness of other additives	Sodium or potassium carbonate Acetic acid

Το ρευστό διέρχεται υπό υψηλή πίεση μέσω των οπών της παραγωγικής σωλήνωσης στον σχηματισμό και αναγκάζει τις ρωγμές στον σχιστόλιθο να διευρυνθούν - συνδέοντας του πόρους και τις υπάρχουσες ρωγμές- δημιουργώντας ένα μονοπάτι για το φ.α. προκειμένου

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής παραγωγικής γεώτρησης

να επιστρέψει πίσω στην γεώτρηση. Η υψηλή πίεση αναγκάζει το ρευστό να ρωγματώσει τον σχηματισμό (Εικόνα 4-14) και να μεταδίδει τις ρωγματώσεις στο κατά τα άλλα αδιαπέραστο πέτρωμα. Αυτές οι ρωγματώσεις αυξάνονται όσο αυξάνεται η πίεση, επιτρέποντας την πρόσβαση σε μεγαλύτερη επιφάνεια του σχηματισμού. Η πίεση κατά την έναρξη της ρωγμάτωσης θα εξαρτηθεί από το βάθος και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού. Οι ρωγματώσεις θα αναπτυχθούν φυσικά σε μια διαδρομή ελάχιστης αντίστασης (WPI, 2013).



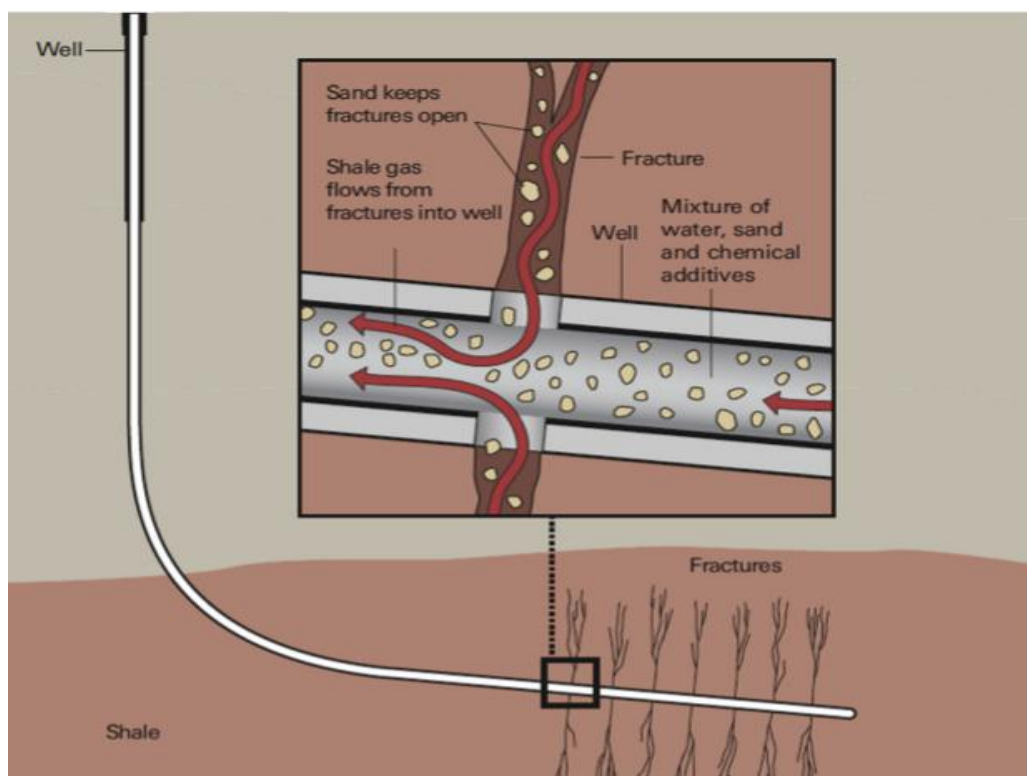
Εικόνα 4-14: Δημιουργία ρωγματώσεων στο σχιστολιθικό σχηματισμό με την εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης (Zendehboudi & Bahadori, 2016).

Ο ρυθμός με τον οποίο εισπνέζεται το ρευστό πρέπει να διασφαλίζει τη διατήρηση της πίεσης που απαιτείται για τη διάδοση της ρωγμής. Ενώ η διαδικασία της ρωγμάτωσης είναι εν εξελίξει, είναι σημαντικό να παρακολουθείται η πίεση μέσα στη γεώτρηση έτσι ώστε να διατηρείται στο επίπεδο που απαιτείται για την πρόκληση της υδραυλικής ρωγμάτωσης (WPI, 2013). Σύμφωνα με το σχέδιο «Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources» που διεξήχθη από την EPA το 2011 (U.S. Environmental Protection Agency), η παρακολούθηση της εισπίεσης στην επιφάνεια (surface injection pressure) είναι ιδιαίτερα σημαντική για δύο λόγους: 1) εξασφαλίζει ότι η πίεση, η οποία ασκείται στον εξοπλισμό δεν υπερβαίνει την αντοχή των ασθενέστερων μερών του και 2) οι απροσδόκητες ή ασυνήθιστες αλλαγές πίεσης μπορεί να είναι ενδεικτικές ενός προβλήματος που απαιτεί άμεση προσοχή (EPA, 2011).

Σε μία οριζόντια γεώτρηση, η διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ένα ή σε πολλαπλά στάδια, ανάλογα με το μήκος του πλευρικού τμήματος της γεώτρησης. Δεδομένου ότι το μήκος του οριζόντιου τμήματος της γεώτρησης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής παραγωγικής γεώτρησης

που βρίσκεται σε επαφή με τον σχιστολιθικό σχηματισμό είναι πολύ μεγάλο, οι διεργασίες υδραυλικής ρωγμάτωσης εκτελούνται με την απομόνωση μικρότερων τμημάτων του οριζόντιου τμήματος της γεώτρησης. Η διέγερση όλου του σχιστολιθικού σχηματισμού με την μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης απαιτεί περισσότερες από μία ρωγματώσεις, καθώς κάθε φορά ρωγματώνονται υδραυλικά περίπου 1.000 ft της γεώτρησης. Η ρωγμάτωση κάθε τμήματος ονομάζεται *στάδιο* (Εικόνα 4-15) Τα στάδια ρωγματώνονται διαδοχικά, ξεκινώντας από το τμήμα στο πλέον απομακρυσμένο άκρο της γεώτρησης. Μόλις ολοκληρωθεί και η ρωγμάτωση του κοντινότερου τμήματος της γεώτρησης, λαμβάνει τέλος και η διέγερση (fracture stimulation) του σχιστολιθικού σχηματισμού (ALLConsulting, 2009).



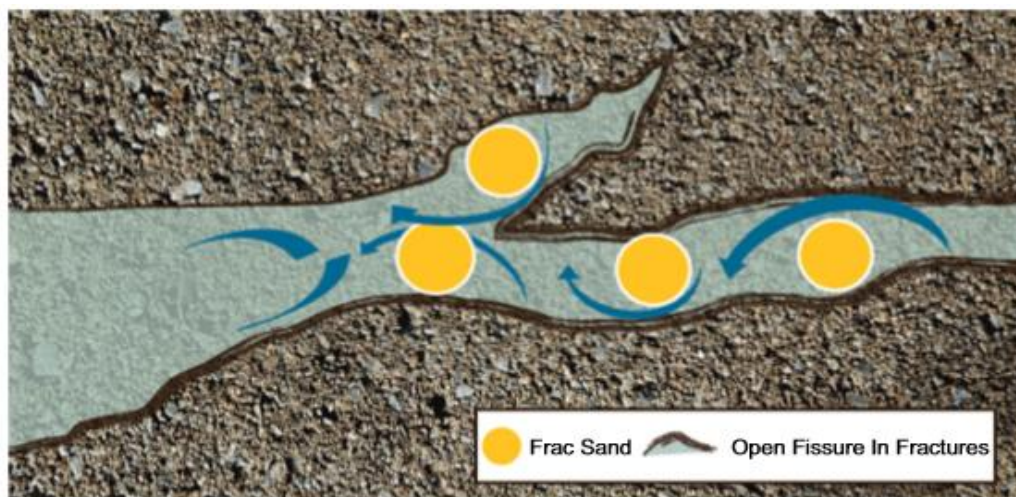
Εικόνα 4-15: Απεικόνιση της υδραυλικής ρωγμάτωσης κατά στάδια (The Royal Society, The Royal Academy of Engineering, 2012).

Μετά την ρωγμάτωση του σχηματισμού, η πίεση μειώνεται και το ρευστό επιστρέφει στην επιφάνεια. Τα πρόσθετα παραμένουν στις ρωγματώσεις και τις διατηρούν ανοιχτές όταν μειωθεί η πίεση και το ρευστό ρέει πίσω στη γεώτρηση. Αυτό επιτρέπει στο φ.α. να διαφύγει από τους μικρούς χώρους πόρων και να οδηγηθεί πίσω στην γεώτρηση (Εικόνα 4-16). Το ρευστό το οποίο επιστρέφει στην κορυφή της γεώτρησης, συνήθως αναφέρεται ως νερό επιστροφής (*flow back water*), δεν περιέχει μόνο το μίγμα χημικών ουσιών που υπάρχει στο ρευστό της υδραυλικής ρωγμάτωσης, αλλά μπορεί επίσης να περιέχει χημικές ουσίες που

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής παραγωγικής γεώτρησης

απαντώνται φυσικά στον ταμιευτήρα, συμπεριλαμβανομένων των υδρογονανθράκων, αλάτων και μετάλλων. Η χημική σύνθεση του νερού που ανακτάται από τη γεώτρηση ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τον σχηματισμό και τον χρόνο μετά την ολοκλήρωση του γεώτρησης, με το νερό που επιστρέφει πρώτο να προσομοιάζει στο ρευστό υδραυλικής ρωγμάτωσης, αλλά με την πάροδο του χρόνου συγκλίνει σε σύσταση που μοιάζει περισσότερο με το φυσικό αλάτι που υπάρχει στο σχηματισμό (Argonne National Laboratory, 2013).



Εικόνα 4-16: Απεικόνιση των προσθέτων (proppants) για τη διατήρηση των ρωγμών ανοιχτών (Zendehboudi & Bahadori, 2016).

Σε πολλές περιπτώσεις, το νερό επιστροφής μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε επακόλουθες διαδικασίες υδραυλικής ρωγμάτωσης. Αυτό εξαρτάται από την ποιότητα του νερού επιστροφής και την οικονομική διάσταση των άλλων εναλλακτικών λύσεων διαχείρισής του. Το νερό επιστροφής που δεν επαναχρησιμοποιείται, οδηγείται προς απόθεση (disposal). Σύμφωνα με την προηγούμενη νομοθεσία, η απόθεση του νερού επιστροφής περιλάμβανε την άμεση απόρριψη του σε επιφανειακά ύδατα ή την εναπόθεση του σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων. Σήμερα, η διάθεση του μεγαλύτερου μέρους του όγκου του νερού επιστροφής περιλαμβάνει την έγχυση του σε γεωτρήσεις έγχυσης/εισπίεσης Κλάσης II (Class II injection wells) όπως ρυθμίζεται από τον κανονισμό της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA - Environmental Protection Agency) (Εικόνα 4-17). Οι εν λόγω γεωτρήσεις εισπίεσης τοποθετούν το νερό επιστροφής σε υπόγειους πορώδεις σχηματισμούς, με αποτέλεσμα να το απομονώνουν από τις πηγές πόσιμου νερού (Argonne National Laboratory, 2013) (WPI, 2013). Οι γεωτρήσεις εισπίεσης Κλάσης II χρησιμοποιούνται για την απόρριψη αλμυρού νερού (brine) και άλλων ρευστών που σχετίζονται με την παραγωγή και την αποθήκευση του πετρελαίου και του φ.α., για την

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής παραγωγικής γεώτρησης

αποθήκευση φ.α. ή την έγχυση ρευστών με σκοπό την επαύξηση της απόληψης πετρελαίου και φ.α.(Enhanced oil and gas recovery (Congressional Research Service, 2015).



Εικόνα 4-17: Γεώτρηση εισπίεσης κατηγορίας II

4.2.6.1. Σχηματική απεικόνιση της υδραυλικής ρωγμάτωσης

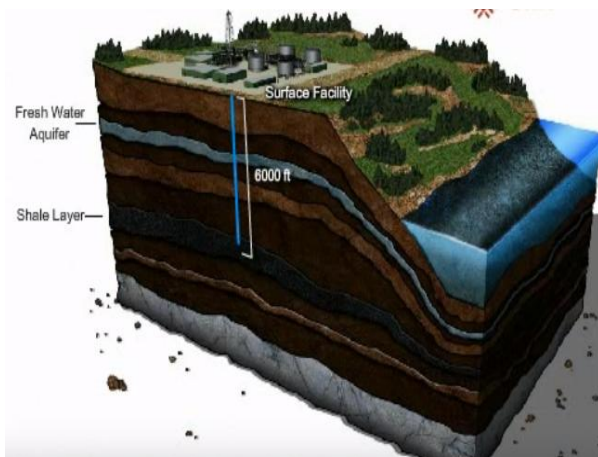
Η διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης αποτελείται από πολλά στάδια μέχρι την επίτευξη της. Για την καλύτερη κατανόηση της εν λόγω διαδικασίας, στη συνέχεια παρουσιάζεται βήμα προς βήμα η σχηματική απεικόνιση της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Οι κάτωθι εικόνες

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

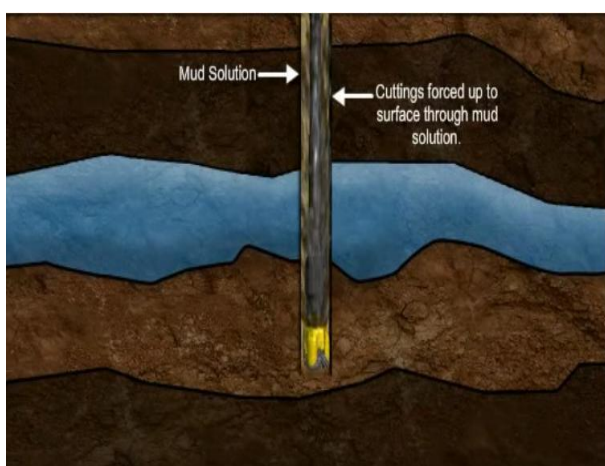
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής παραγωγικής γεώτρησης

αποτελούν screenshots από σχετικό βίντεο «Hydraulic Fracturing – Shale Gas Extraction» το οποίο ανακτήθηκε από την ιστοσελίδα του YouTube.

1) Όρυξη κατακόρυφου τμήματος γεώτρησης

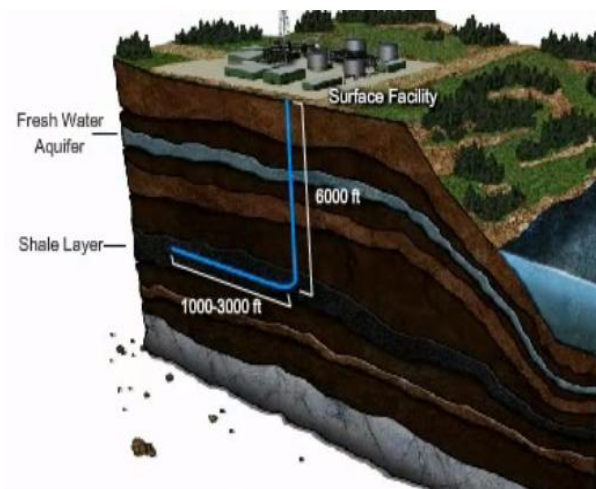


Το πρώτο στάδιο της όρυξης της γεώτρησης αποτελεί το κατακόρυφο τμήμα. Η κατακόρυφη γεώτρηση ορύσσεται περίπου 6000 ft κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, μέχρι να προσεγγίσει τον σχιστολιθικό σχηματισμό.



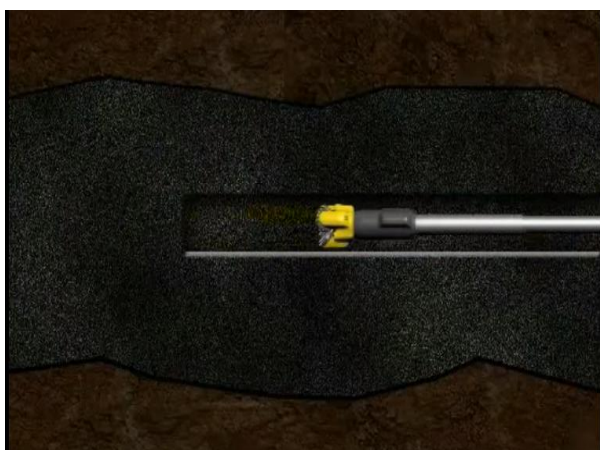
Η μέθοδος όρυξης που υιοθετείται χρησιμοποιεί λάσπη διάτρησης η οποία εισπνέζεται στη γεώτρηση, μέσω της κεφαλής της γεώτρησης και επιτυγχάνει την ψύξη και τη λίπανση του κοπτικού άκρου, τη διατήρηση της σταθερότητας της γεώτρησης και τη μεταφορά των θρυμμάτων στην επιφάνεια.

2) Όρυξη οριζόντιου τμήματος της γεώτρησης

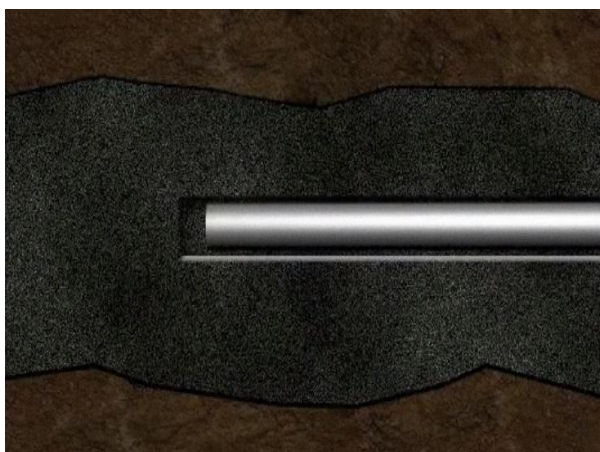


Όταν η γεώτρηση προσεγγίσει το βάθος στο οποίο βρίσκεται ο σχιστολιθικός σχηματισμός, αλλάζει κλίση και ορύσσεται παράλληλα με το οριζόντιο επίπεδο, βρισκόμενη σε επαφή με τον σχιστολιθικό σχηματισμό. Η οριζόντια γεώτρηση ορύσσεται μέσα στον σχιστολιθικό σχηματισμό σε μήκη 1000–3000 ft.

3) Σωλήνωση

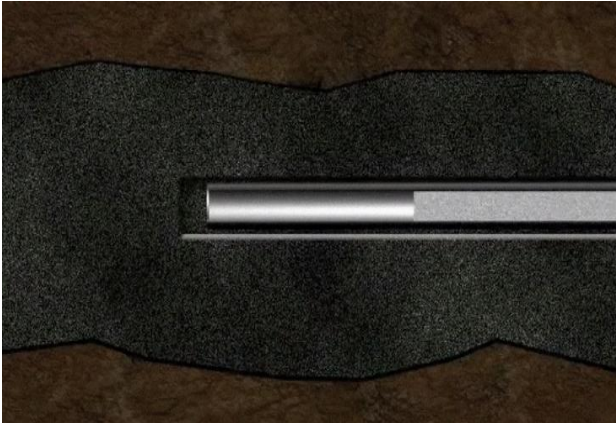


Όταν ολοκληρωθεί η όρυξη του οριζόντιου τμήματος, η λάσπη διάτρησης και τα θρύμματα απομακρύνονται από την γεώτρηση και η διατρητική στήλη ανασύρεται στην επιφάνεια.

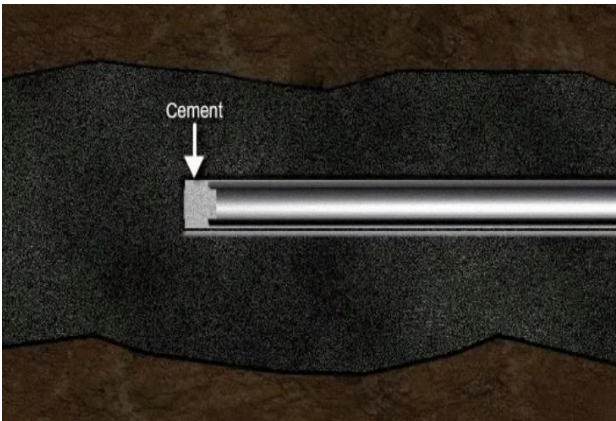


Μετά την ανέλκυση του εξοπλισμού, εγκαθίσταται η παραγωγική σωλήνωση η οποία καλύπτει όλο το μήκος της γεώτρησης.

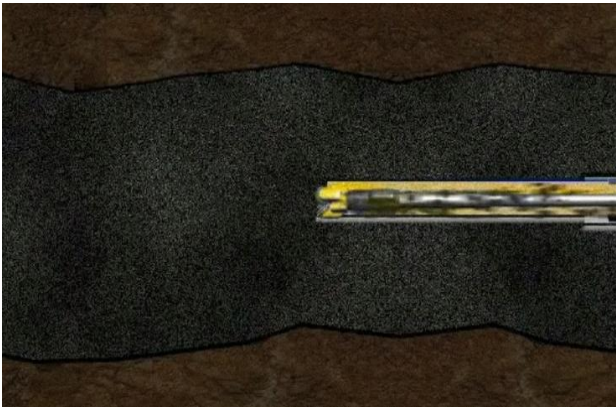
4) Τσιμεντώση



Η παραγωγική σωλήνωση τσιμεντώνεται και στερεώνεται επί τόπου, μέσω της εισπίεσης τσιμέντου υπό υψηλή πίεση από το άκρο της σωλήνωσης. Το τσιμέντο εισπιέζεται γύρω από το εξωτερικό περίβλημα της σωλήνωσης, που συνήθως φτάνει μέχρι την επιφάνεια.



Η τσιμεντώση ουσιαστικά δημιουργεί ένα αδιαπέραστο στρώμα, το οποίο εξασφαλίζει την απομόνωση των ρευστών του σχιστολιθικού σχηματισμού μέσα στην παραγωγική σωλήνωση, και την ακεραιότητα της γεώτρησης.

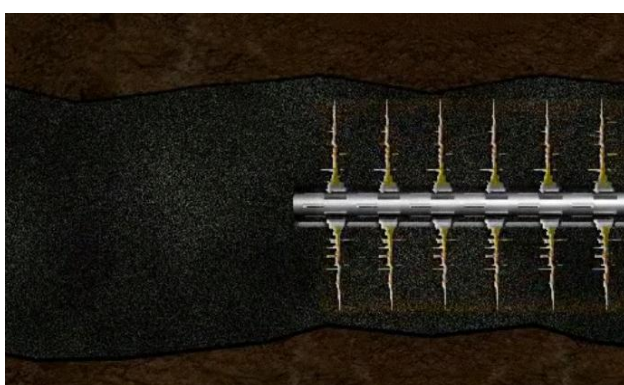


Εν συνεχεία, το κοπτικό άκρο οδηγείται πάλι κάτω στη γεώτρηση, όπου συνεχίζει την όρυξη μέσα στον σχιστολιθικό σχηματισμό. Μόλις ολοκληρωθεί η διάτρηση, η διατρητική στήλη και τα θρύμματα ανέρχονται στην επιφάνεια.

5) Διάτρηση της παραγωγικής σωλήνωσης

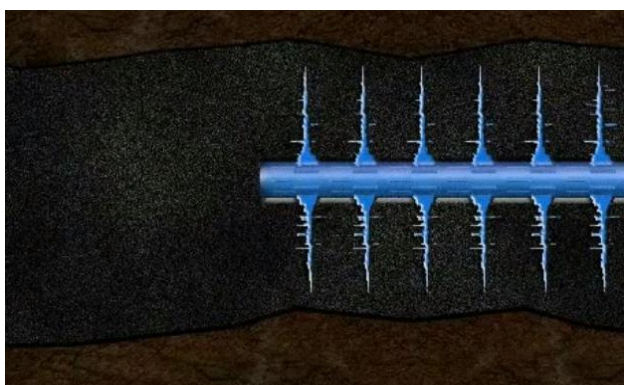


Ακολουθεί η διάτρηση της παραγωγικής σωλήνωσης μέσω της χρήσης ενός perforating pipe gun, το οποίο περιέχει εκρηκτικά.



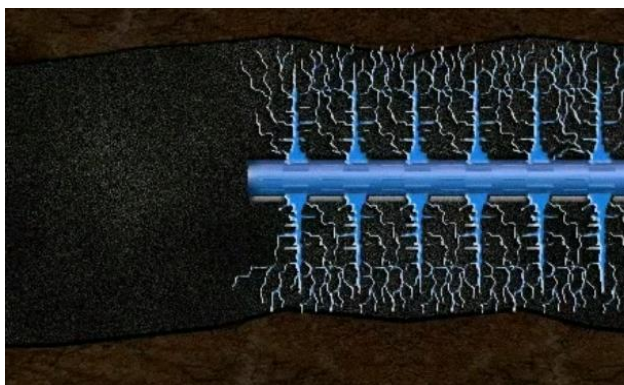
Η πυροδότηση των εκρηκτικών δημιουργεί οπές στη σωλήνωση και στη τσιμέντωση και στον σχηματισμό που περιβάλλει τη γεώτρηση. Ως αποτέλεσμα, δημιουργείται ένας διάυλος που συνδέει την παραγωγική σωλήνωση με τον σχηματισμό.

6) Υδραυλική ρωγμάτωση



Το ρευστό ρωγμάτωσης, το οποίο αποτελείται κυρίως από νερό και άμμο, εισπνέζεται από τον εξοπλισμό που βρίσκεται στην επιφάνεια (αντλίες υψηλής πίεσης) και μέσω της γεώτρησης και της παραγωγικής σωλήνωσης εισέρχεται στον σχιστολιθικό σχηματισμό.

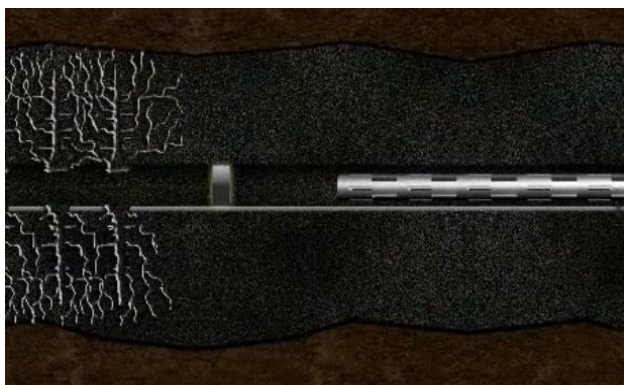
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής παραγωγικής γεώτρησης



Το εισπιεζόμενο ρευστό αναγκάζει τις ρωγματώσεις στον σχιστόλιθο να ανοίξουν και να επεκταθούν, ενώ δημιουργεί νέες ρωγματώσεις, επιτρέποντας στο φ.α. να εξέλθει ευκολότερα από τον σχηματισμό. Τα πρόσθετα επιτρέπουν στις ρωγματώσεις να παραμένουν ανοιχτές, έτσι ώστε το αέριο να μπορεί να οδηγηθεί μέσω της παραγωγικής σωλήνωσης στην επιφάνεια.

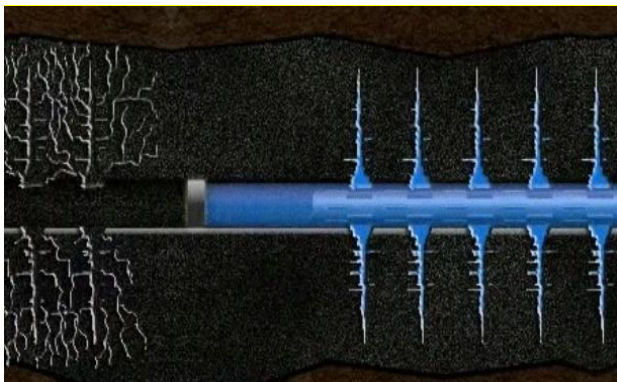


Μετά το πρώτο στάδιο της υδραυλικής ρωγμάτωσης, το ρευστό αντλείται στην επιφάνεια, ενώ το perforating gun κινείται αντίστροφα, προχωρώντας στο επόμενο τμήμα της οριζόντιας γεώτρησης.

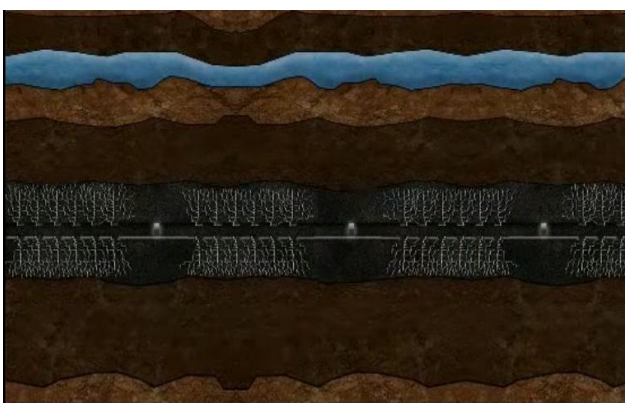


Η διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης, επαναλαμβάνεται, ενώ τοποθετείται ένα πώμα απομόνωσης στο κάτω μέρος του perforating gun, έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι μόνο το τρέχον τμήμα της γεώτρησης θα ρωγματωθεί υδραυλικά.

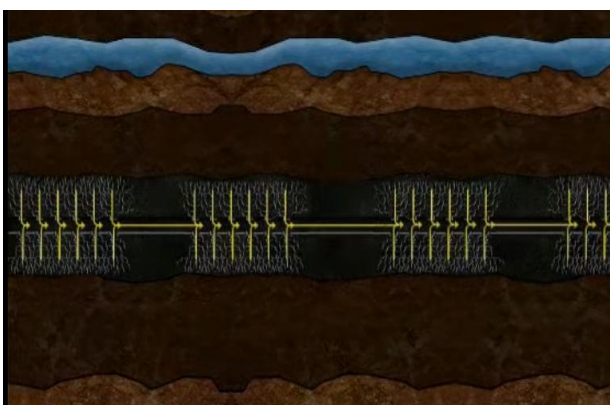
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής παραγωγικής γεώτρησης



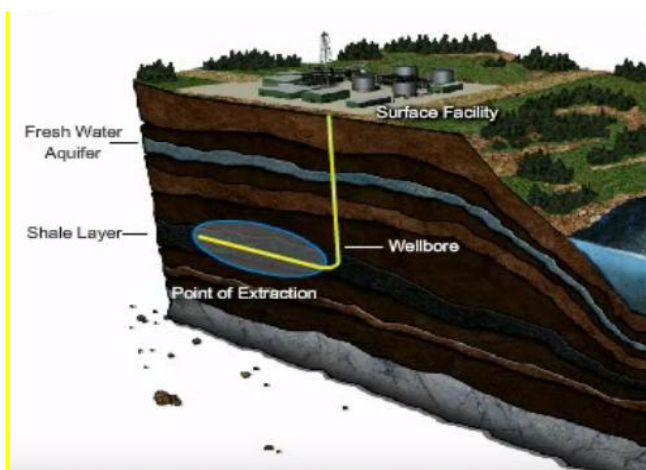
Πραγματοποιούνται νέες πυροδοτήσεις ανά στάδια και η διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης λαμβάνει χώρα μέχρι να ολοκληρωθούν όλα τα στάδια.



Η διαδικασία της διάτρησης της παραγωγικής σωλήνωσης και της υδραυλικής ρωγμάτωσης επαναλαμβάνεται σε όλο το μήκος της οριζόντιας γεώτρησης, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η αποτελεσματική εξαγωγή του φ.α. από τον σχιστόλιθο. Σύνηθως, μία γεώτρηση σχιστολιθικού αερίου περιλαμβάνει 10 στάδια υδραυλικής ρωγμάτωσης.



Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης, τα πόματα απομόνωσης απομακρύνονται και μπορεί να ξεκινήσει η παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου, καθιστώντας εφικτή τη ροή του αερίου προς την επιφάνεια.



Τέλος, το φ.α. αντλείται στην επιφάνεια και οδηγείται στον κατάλληλο εξοπλισμό που βρίσκεται στην επιφάνεια για επεξεργασία.

4.2.7. Ακεραιότητα της γεώτρησης (well integrity)

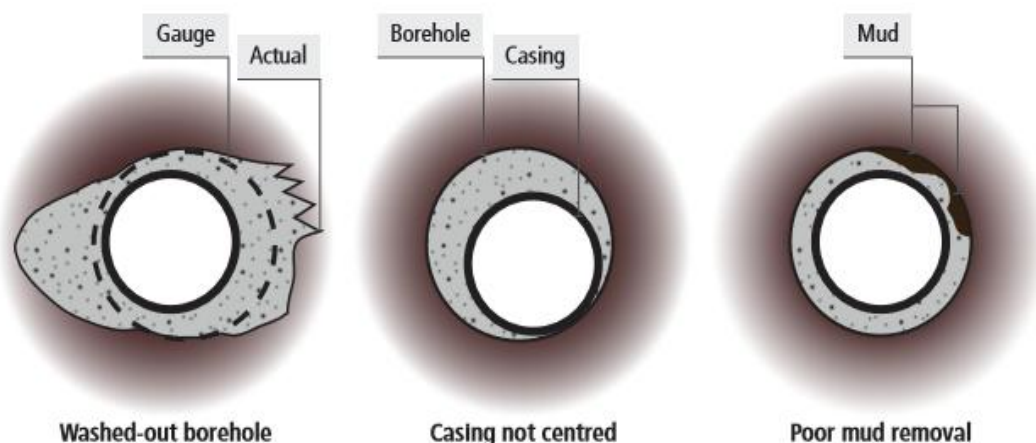
Η προσπάθεια επίτευξης υψηλού βαθμού ακεραιότητας της γεώτρησης για την αποφυγή άμεσων και μακροπρόθεσμων διαρροών αερίου και άλλων ρευστών στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες ή στην επιφάνεια αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της προστασίας του περιβάλλοντος σε οποιαδήποτε γεώτρηση πετρελαίου και φ.α. Σύμφωνα με την μελέτη της The U.K. Royal Society and Royal Academy of Engineering (2012): «*Η διασφάλιση της ακεραιότητας της γεώτρησης πρέπει να παραμείνει η ύψιστη προτεραιότητα για την πρόληψη της ρύπανσης*».

Πολλές προκλήσεις πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας τσιμεντώσης για να αποφευχθεί η μετανάστευση υγρών (και αερίων) στο περιβάλλον, είτε άμεσα μετά την τσιμεντώση της γεώτρησης, είτε χρόνια ή και δεκαετίες αργότερα. Πρέπει να χρησιμοποιηθεί επαρκής ποσότητα τσιμέντου προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι φθάνει στο κατάλληλο βάθος, καλύπτει ολόκληρο το περίβλημα της σωλήνωσης και εκτοπίζει όλη τη λάσπη στον δακτύλιο μεταξύ του περιβλήματος της σωλήνωσης και των τοιχωμάτων της γεωτρήσεως. Επιπλέον, το τσιμέντο πρέπει να κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το μήκος της γεώτρησης (δηλαδή χωρίς κενά και με επαρκές πάχος για να αποφευχθεί η διάσπασή του) και πρέπει να έχει καλή πρόσφυση τόσο στη σωλήνωση όσο και στον σχηματισμό. Το αέριο μπορεί να μεταναστεύσει στο τσιμέντο κατά τη διάρκεια της εispίεσής του (while it is setting), γεγονός που μπορεί επίσης να επηρεάσει την ακεραιότητα της γεώτρησης. Η σωλήνωση πρέπει, επίσης, να τοποθετηθεί στο κέντρο της γεώτρησης (the casing must also be centralized in the borehole) κατά τη διάρκεια της τσιμεντώσης, για να διασφαλιστεί ότι το

ρευστό διάτρησης έχει απομακρυνθεί πλήρως και το τσιμέντο έχει διεισδύσει γύρω από τη σωλήνωση της γεώτρησης (API Energy, 2009).

Η όρυξη της γεώτρησης συνήθως προκαλεί μικρορωγμές στο πέτρωμα την που περιβάλλει αλλά και ζημιές μεγαλύτερης κλίμακας (washouts ή massive breakouts) μπορεί να εμφανιστούν ειδικά σε περιπτώσεις σχηματισμών όπου αναπτύσσονται έντονα εντατικά πεδία. Ανάλογα με τη φύση των γεωλογικών στρωμάτων, αυτή η τοπική βλάβη κατά μήκος της γεώτρησης (wellbore) μπορεί να προσφέρει ή να ενεργοποιήσει ένα μονοπάτι (δίοδο) για την αργή ανοδική μετακίνηση αερίου, καθώς το τσιμέντο για τη σφράγιση του δακτυλίου (annulus seal) γενικά δεν αναμένεται να σφραγίσει πλήρως στις μικρορωγμές στη ζώνη που υπέστη ζημία λόγω μεγάλου μεγέθους του κόκκου τσιμέντου.

Στην Εικόνα 4-18 απεικονίζονται περιπτώσεις προβλημάτων τσιμεντώσης μιας γεώτρησης: στην πρώτη (από αριστερά), συνθήκες ανώμαλων τοιχωμάτων γεώτρησης λόγω έκλυσης αυτών, στη δεύτερη, έκκεντρη τοποθέτηση της σωλήνωσης και στην τρίτη, ανεπαρκής απομάκρυνση λάσπης από τα τοιχώματα της γεώτρησης. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι προαναφερθείσες καταστάσεις μπορεί να εμποδίσουν την επίτευξη πλήρους σφράγισης του τσιμέντου γύρω από τη σωλήνωση της γεώτρησης.



Εικόνα 4-18: Προβλήματα τσιμεντώσης μιας γεώτρησης (Council of Canadian Academies, 2014).

Η επίτευξη υψηλής ποιότητας τσιμεντώσης αναγνωρίζεται παγκοσμίως ως πιο δύσκολη για την κεκλιμένη σωλήνωση (π.χ. σε μια οριζόντια γεώτρηση) απ'ό,τι για την κατακόρυφη σωλήνωση και ειδικότερα σε εκείνο το τμήμα της γεώτρησης που έχει μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας, καθώς μεταβαίνει από την κατακόρυφη στην οριζόντια τροχιά.

Οι τεχνικές που ακολουθούνται για τον έλεγχο της ακεραιότητας της γεώτρησης είναι οι ακόλουθες:

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

- Δοκιμές πίεσης που περιορίζονται σε εντοπισμένα τμήματα της σωλήνωσης και ως εκ τούτου ελέγχουν μόνο την ακεραιότητα του χαλύβδινου περιβλήματος κατά μήκος του απομονωμένου διαστήματος και όχι την κατάσταση της γεώτρησης (wellbore) πίσω από τη σωλήνωση.
- Συσκευές οι οποίες, με ακουστικά σήματα ή με άλλο τρόπο, ανιχνεύουν ροή μεταξύ των σχηματισμών που βρίσκονται πίσω από τη σωλήνωση. Οι συσκευές αυτές παρέχουν τα πιο οριστικά αποτελέσματα αλλά έχουν υψηλό κόστος και δεν μπορούν να ανιχνεύσουν αργή διήθηση αερίου.
- Διαγραφίες τσιμέντου (*cement bond logs*), οι οποίες είναι οι πιο διαδεδομένες απλές και φθηνές τεχνικές εδώ και δεκαετίες (Council of Canadian Academies, 2014).

4.2.8. Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου από τη γεώτρηση (production)

Μόλις πραγματοποιηθεί η σύνδεση μεταξύ των γεωτρήσεων και των εγκαταστάσεων επεξεργασίας, η κύρια φάση της παραγωγής μπορεί να ξεκινήσει. Κατά τη διάρκεια της παραγωγής, οι γεωτρήσεις θα παράγουν υδρογονάνθρακες καθώς και ρεύματα αποβλήτων (*waste streams*) τα οποία θα πρέπει να διαχειριστούν κατάλληλα. Στην κορυφή της γεώτρησης έχει τοποθετηθεί ο επιφανειακός μηχανισμός ελέγχου της παραγωγής, λεγόμενος «Χριστουγεννιάτικο δένδρο» – *Christmas Tree*, από το σχήμα που έχουν οι πολλαπλές βάνες και βαλβίδες και το οποίο έχει ύψος περίπου 3 – 4 ft. Μέσω αυτού οι παραγόμενοι υδρογονάνθρακες διοχετεύονται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας που συνήθως εξυπηρετούν έναν μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων.

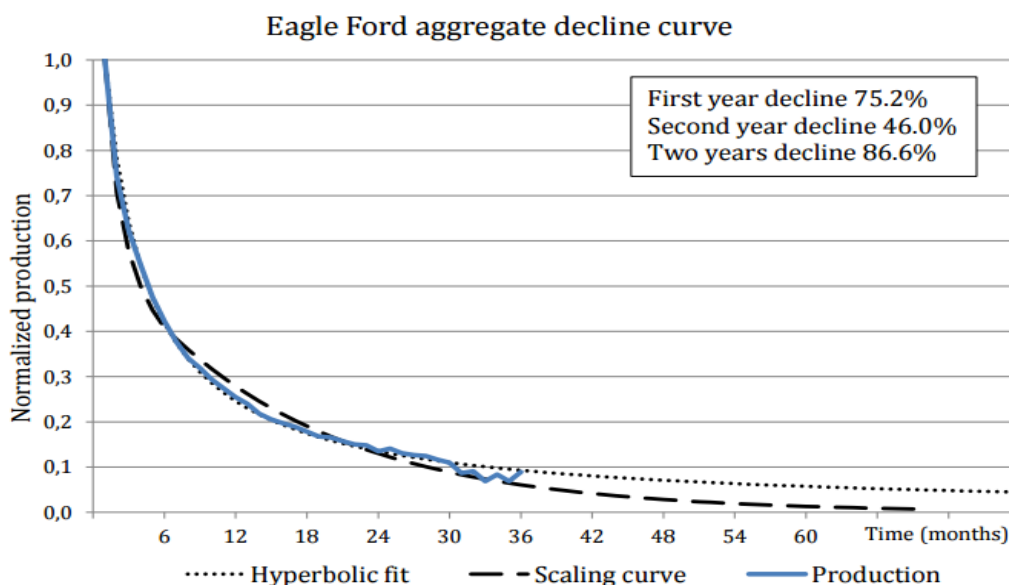
Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να αποφασιστεί να επαναληφθεί η διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης μεταγενέστερα κατά τη διάρκεια της παραγωγικής ζωής της γεώτρησης, η οποία ονομάζεται *refracturing*. Η διαδικασία αυτή εκτελούνταν συχνότερα στις κατακόρυφες γεωτρήσεις, ενώ είναι σχετικά σπάνια τις οριζόντιες γεωτρήσεις, καθώς εφαρμόζεται σε λιγότερο από το 10% των οριζόντιων γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου που ορύσσονται στις Η.Π.Α.

Η φάση παραγωγής αποτελεί την μεγαλύτερη φάση του κύκλου ζωής της γεώτρησης. Για μία συμβατική γεώτρηση, η παραγωγή μπορεί να διαρκέσει 30 χρόνια, ενώ για μια μη συμβατική γεώτρηση, η παραγωγική ζωή αναμένεται να είναι παρόμοια. Ωστόσο, οι γεωτρήσεις σχιστολιθικού αερίου τυπικά παρουσιάζουν μια έκρηξη της αρχικής παραγωγής και στη συνέχεια μια απότομη πτώση, ακολουθούμενη από μια μακρά περίοδο σχετικά χαμηλής παραγωγής. Η ποσότητα του αερίου που εξάγεται (output) συνήθως μειώνεται κατά

50% έως 75% κατά το πρώτο έτος της παραγωγής και τα περισσότερα ανακτήσιμα αποθέματα εξάγονται συνήθως μετά από μερικά μόνο χρόνια.

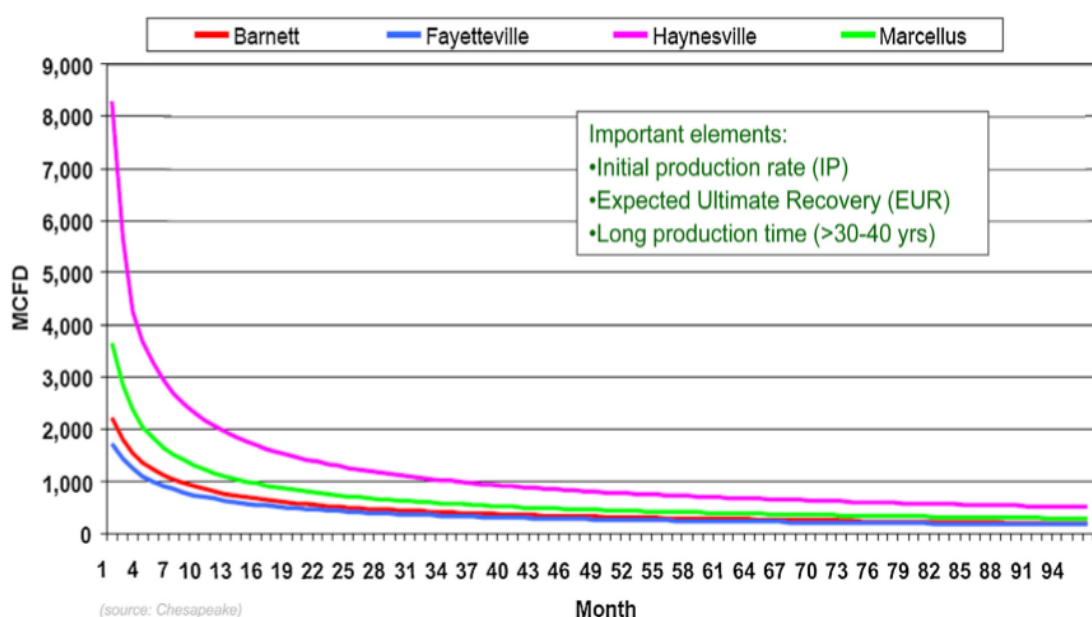
Κατά τη διάρκεια της παραγωγής, το ανακτώμενο από τη γεώτρηση αέριο οδηγείται σε αγωγούς συλλογής μικρής διαμέτρου, οι οποίοι με τη σειρά τους συνδέονται σε μεγαλύτερους αγωγούς που συλλέγουν αέριο από ένα δίκτυο παραγωγικών γεωτρήσεων. Επειδή η μεγάλης κλίμακας παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια, δεν έχει καθοριστεί πλήρως ο χρόνος παραγωγής των γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου. Γενικά παρατηρείται ότι οι γεωτρήσεις σχιστολιθικού αερίου αντιμετωπίζουν ταχύτερη μείωση της παραγωγής από ό, τι η συμβατική παραγωγή φ.α.. Για τον σχηματισμό Fayetteville στο βόρειο-κεντρικό Arkansas έχει εκτιμηθεί ότι το ήμισυ της παραγωγής κατά τη διάρκεια ζωής της γεώτρησης ή η εκτιμώμενη τελική ανάκτηση (estimated ultimate recovery), επιτυγχάνεται κατά τα 5 πρώτα χρόνια λειτουργίας της γεώτρησης.

Στην Εικόνα 4-19 απεικονίζεται η καμπύλη μείωση της παραγωγής (shale gas production decline curve) κατά τη διάρκεια του πρώτου και του δεύτερου χρόνου παραγωγής του σχηματισμού EagleFord, στις Ηνωμένες Πολιτείες., η οποία αντιπροσωπεύει το τυπικό προφίλ παραγωγής μιας μη συμβατικής γεώτρησης σχιστολιθικού αερίου. Μετά από ένα χρόνο η παραγωγή μειώθηκε κατά 75,2% και μετά από δύο χρόνια κατά 86,6%.



Εικόνα 4-19: Καμπύλη εξέλιξης παραγωγής του σχηματισμού Eagle Ford (Lund, 2014).

Στην Εικόνα 4-20 παρουσιάζονται τυπικές καμπύλες εξέλιξης της παραγωγής συναρτήσει του χρόνου για τους κυριότερους ταμιευτήρες σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ. Από το διάγραμμα αυτό γίνεται αντιληπτό οι αρχικοί υψηλοί ρυθμοί παραγωγής (IP), η ταχεία εκθετική μείωση και η μεγάλη διάρκεια παραγωγής, η οποία είναι μεγαλύτερη από 30-40 χρόνια.



Εικόνα 4-20: Τυπικές καμπύλες εξέλιξης της παραγωγής στους κυριότερους ταμιευτήρες σχιστολιθικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες (Scoothman, 2016).

4.2.9. Εγκατάλειψη και αποκατάσταση (abandonment and reclamation) μιας γεώτρησης σχιστολιθικού αερίου

Μόλις η γεώτρηση σταματήσει να παράγει με οικονομικό ρυθμό, η κεφαλή της γεώτρησης απομακρύνεται και διοχετεύεται τσιμέντο μέσα στη γεώτρηση προκειμένου να αποφευχθεί η διαφυγή φ.α. στην ατμόσφαιρα ή τυχόν διαρροές στον υδροφόρο ορίζοντα. Εν συνέχεια, ακολουθεί η αποκατάσταση της επιφάνειας, είτε στην κατάσταση πριν από την όρυξη της γεώτρησης, είτε σε άλλη κατάσταση που συμφωνήθηκε με τον ιδιοκτήτη της γης, και τέλος η εγκατάλειψη της έκτασης στον κάτοχο της επιφάνειας της γης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Τεχνικές παραγωγής σχιστολιθικού αερίου – Κύκλος ζωής παραγωγικής γεώτρησης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

5.1. Εισαγωγή

Η παραγωγή φ.α. από τους οργανικά πλούσιους σχιστολιθικούς σχηματισμούς, το σχιστολιθικό αέριο, από την τελευταία δεκαετία μέχρι και σήμερα έχει σημειώσει εντυπωσιακή άνοδο κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η οριζόντια γεώτρηση σε συνδυασμό με την μεγάλης κλίμακας υδραυλική ρωγμάτωση αποτέλεσαν τις μεθόδους κλειδιά για την επιτυχή ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου. Η επανάσταση του σχιστολιθικού αερίου δίνει την δυνατότητα στις Η.Π.Α., μέσα στα επόμενα χρόνια, να μετατραπούν από εισαγωγέα σε εξαγωγέα φ.α.. Η αυξανόμενη παραγωγή και επέκταση του σχιστολιθικού αερίου όχι μόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες αλλά σε ολοένα και περισσότερες χώρες παγκοσμίως αναμένεται να αλλάξει άρδην το ενεργειακό σκηνικό.

Οι νέες εξελίξεις στον τομέα του πετρελαίου και του φ.α. επιφέρουν αλλαγές στο περιβαλλοντικό και κοινωνικοοικονομικό πλαίσιο, ιδίως στις περιοχές όπου η ανάπτυξη του φ.α. αποτελεί νέα δραστηριότητα. Με αυτές τις αλλαγές προκύπτουν ερωτήματα σχετικά με τη φύση της ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου, τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή του και την ικανότητα του τρέχοντος ρυθμιστικού πλαισίου να αντιμετωπίσει αυτήν την εξέλιξη.

Σημειωτέον, η ταχεία ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου, έχει προκαλέσει ανησυχίες, κυρίως λόγω της διαδικασίας της υδραυλικής ρωγμάτωσης, σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν την ρύπανση των υπόγειων και των επιφανειακών υδάτων, την αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άλλων αερίων που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα σε τοπικό επίπεδο, την επαγόμενη σεισμικότητα, την επίπτωση στη βιοποικιλότητα, στις χρήσεις γης και το έδαφος, την ηχορύπανση και την οπτική ρύπανση.

Ακολουθεί η παρουσίαση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των κυριότερων κανονιστικών πλαισίων, σχετικά με την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου.

5.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

Δεδομένου ότι η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου έχει αυξηθεί σημαντικά κατά την τελευταία δεκαετία, αυξήθηκε επίσης το επίπεδο προσοχής που δίνεται στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες απορρέουν από αυτή τη δραστηριότητα. Η εκμετάλλευση και η παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου μπορεί να επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις και κινδύνους για το κλίμα, το περιβάλλον και για την ίδια την ανθρώπινη υγεία.

Στον Πίνακα 5-1 που ακολουθεί, απεικονίζονται οι δυνητικοί κίνδυνοι που αξιολογήθηκαν σε κάθε στάδιο ανάπτυξης ενός έργου παραγωγής σχιστολιθικού αερίου και οι προκαλούμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Πίνακας 5-1: Περίληψη της προκαταρκτικής αξιολόγησης κινδύνων από την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου (ΑΕΑ, 2012).

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

Τα στάδια είναι τα εξής:

1. Προσδιορισμός και προετοιμασία του χώρου εγκατάστασης του γεωτρύπανου (well pad)
2. Σχεδιασμός, διάτρηση, σωλήνωση και τσιμέντωση της γεώτρησης
3. Τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης
4. Ολοκλήρωση της γεώτρησης
5. Παραγωγή
6. Κλείσιμο και εγκατάλειψη της γεώτρησης

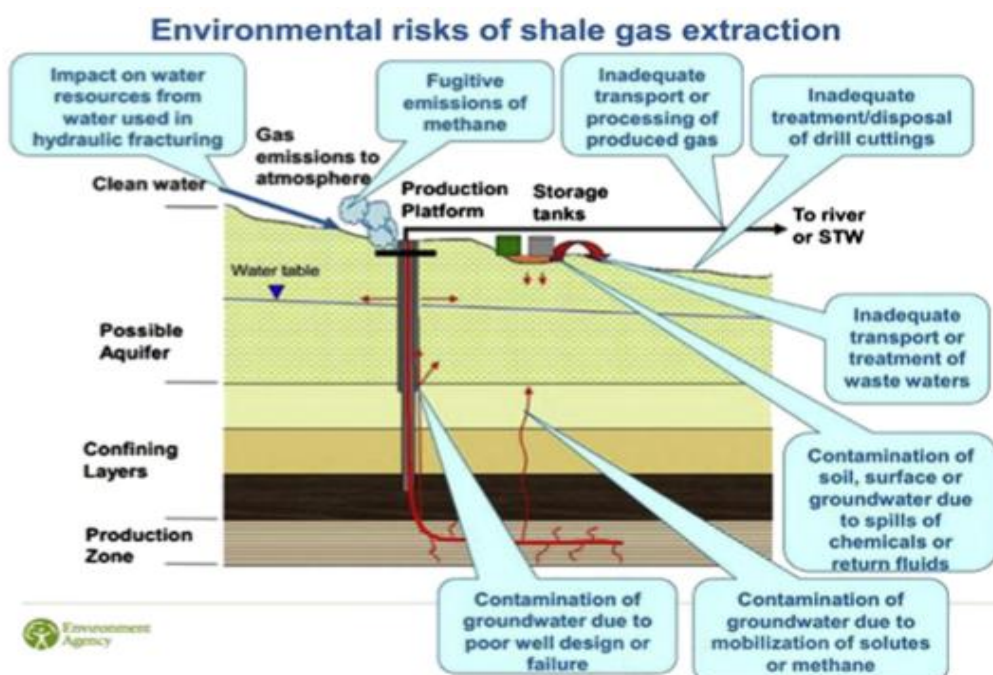
Εν γένει, οι κυριότερες αιτίες κινδύνων και επιπτώσεων στο περιβάλλον και τον άνθρωπο είναι οι εξής:

- Η χρήση σημαντικά μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού και χημικών προσθέτων, συγκριτικά με την παραγωγή συμβατικού φ.α.
- Η χαμηλότερη ανάκτηση από τις μη συμβατικές γεωτρήσεις σε σχέση με τις συμβατικές, γεγονός που συνεπάγεται μεγαλύτερες επιπτώσεις συγκριτικά με τις διαδικασίες έρευνας και παραγωγής φ.α., ανά μονάδα παραγόμενου αερίου.
- Η διασφάλιση της ακεραιότητας των γεωτρήσεων και του λοιπού εξοπλισμού κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, της λειτουργίας αλλά και μετά την εγκατάλειψη της γεώτρησης, ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος ρύπανσης των επιφανειακών ή/και των υπόγειων υδάτων.
- Η αποφυγή διαρροής χημικών ουσιών και αποβλήτων με πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και της λειτουργικής ζωής της γεώτρησης.
- Η διασφάλιση της κατάλληλης αναγνώρισης και επιλογής γεωλογικών θέσεων, βάσει της εκτίμησης κινδύνου και των ειδικών γεωλογικών χαρακτηριστικών και του εκάστοτε βαθμού αβεβαιότητας που συνδέονται με τη μακροπρόθεσμη παρουσία των ρευστών της υδραυλικής ρωγμάτωσης στο υπέδαφος.
- Η πιθανή τοξικότητα των χημικών προσθέτων και η ανάπτυξη πιο «πράσινων» εναλλακτικών τεχνολογιών.
- Η αναπόφευκτη απαίτηση για μεταφορά εξοπλισμού, υλικών και αποβλήτων από και προς το χώρο της γεώτρησης, με αποτέλεσμα συνεπαγόμενες επιπτώσεις στην κυκλοφορία που αν και μπορούν να μετριαστούν, δεν είναι δυνατό να αποφευχθούν πλήρως.
- Η απαιτούμενη ανάπτυξη εκτείνεται σε ευρύτερη περιοχή συγκριτικά με την αντίστοιχη των πεδίων συμβατικού φ.α.

- Η αναπόφευκτη απαίτηση χρήσης εγκαταστάσεων και εξοπλισμού κατά τη διάρκεια της κατασκευής της γεώτρησης και της υδραυλικής ρωγμάτωσης, με συνέπεια να προκαλούνται αέριες εκπομπές και θόρυβος (ΑΕΑ, 2012).

Από τις παραπάνω αιτίες απορρέουν οι ακόλουθες κύριες περιβαλλοντικές παράμετροι οι οποίες θα πρέπει να εξετάζονται κατά την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου(Εικόνα 5-1):

- i. Διαθεσιμότητα και ρύπανση υδάτων
- ii. Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου
- iii. Ποιότητα του αέρα
- iv. Επαγόμενη σεισμικότητα.
- v. Επιπτώσεις στη γη και στο τοπίο
- vi. Επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα
- vii. Ηχορύπανση
- viii. Οπτική ρύπανση



Εικόνα 5-1:Κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου (Environment Agency, 2013).

5.2.1. Διαθεσιμότητα νερού (water availability)

Τα δύο πρωταρχικά ζητήματα που συνδέονται με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου και την εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης, τα οποία έχουν εγείρει σειρά ερωτημάτων και ανησυχιών, είναι η κατανάλωση πολύ μεγάλων ποσοτήτων νερού και ο κίνδυνος ρύπανσης των υπόγειων και επιφανειών υδάτων.

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

Η διαθεσιμότητα του νερού είναι ζωτικής σημασίας για τη διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Όσον αφορά το σχιστολιθικό αέριο, η όρυξη της οριζόντιας γεώτρησης απαιτεί περίπου 100.000 έως 1 εκατομμύριο γαλόνια νερού (συνήθως λιγότερο από το 10% της συνολικής απαίτησης σε νερό). Η ποσότητα που απαιτείται για την εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε μία γεώτρηση ποικίλει σε σημαντικό βαθμό, ανάλογα με τη γεωλογία (ωριμότητα σχιστόλιθου, βάθος, πάχος σχηματισμού), την τεχνολογία που εφαρμόζεται (οριζόντια ή κατακόρυφη γεώτρηση, ανακύκλωση νερού). Κατά μέσο όρο, ωστόσο, μπορεί να απαιτήσει 2-5 εκατομμύρια γαλόνια (7-19 εκατομμύρια λίτρα ή 7,000 m³ – 19,000 m³), ενώ σε μία γεώτρηση η υδραυλική ρωγμάτωση μπορεί να εφαρμοστεί πολλές φορές στη διάρκεια ζωής της (Rezaee, 2015). Στους Πίνακες 5-2 και 5-3 παρουσιάζεται η κατανάλωση νερού ανά γεώτρηση παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στον Καναδά και τις ΗΠΑ, αντίστοιχα.

Πίνακας 5-2: Εύρος κατανάλωσης νερού ανά γεώτρηση σε διάφορους σχιστολιθικούς σχηματισμούς στον Καναδά (Council of Canadian Academies, 2014).

Average Volume of Water Used per Well in Canada

Shale Gas Play	Average Volume of Water per Well (m ³)
Horn River Basin (BC)	76,900
Montney (BC)	6,700–9,700
Colorado (vertical wells in SK)	200–400
Utica (QC)	12,000–20,000
Frederick Brook (NB)	2,000–20,000
Horton Bluff (NS) (2 wells only)	5,900–6,800

Πίνακας 5-3: Μέσος όρος κατανάλωσης νερού ανά γεώτρηση σε διάφορους σχιστολιθικούς σχηματισμούς στις Ηνωμένες Πολιτείες (DOE, 2009) (Mathis, 2011) (GAO, 2012a).

Shale Play	DOE (2009) (gallons)			Mathis (2011) (gallons)			GAO (2012a) (gallons)		
	Drilling	Fracking	Total	Drilling	Fracking	Total	Drilling	Fracking	Total
Barnett	400,000	2,300,000	2,700,000	250,000	3,800,000	4,050,000	250,000	4,600,000	4,850,000
Eagle Ford	---	---	---	125,000	6,000,000	6,125,000	125,000	5,000,000	5,125,000
Fayetteville	60,000	2,900,000	3,060,000	65,000	4,900,000	4,965,000	---	---	---
Haynesville	1,000,000	2,700,000	3,700,000	600,000	5,000,000	5,600,000	600,000	5,000,000	5,600,000
Marcellus	80,000	3,800,000	3,880,000	85,000	5,500,000	5,585,000	85,000	5,600,000	5,685,000
Niobrara	---	---	---	300,000	3,000,000	3,300,000	300,000	3,000,000	3,300,000

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Αναμφισβήτητα, η αύξηση της κλίμακας παραγωγής θα αυξήσει και την κατανάλωση νερού. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (United States Environmental Protection Agency - US EPA) στις δραστηριότητες υδραυλικών ρωγματώσεων στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2010 χρησιμοποιήθηκαν 70 δισεκατομμύρια έως 140 δισεκατομμύρια γαλόνια νερού. Η πρόσφατη μελέτη «Assessment of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing for Oil and Gas on Drinking Water Resource» που δημοσιεύθηκε από την US EPA το 2016, εκτιμά ότι οι δραστηριότητες της υδραυλικής ρωγμάτωσης αντιπροσωπεύουν λιγότερο από το 1% της συνολικής κατανάλωσης νερού στις ΗΠΑ. Επίσης, κατά τη διάρκεια ενός κύκλου ζωής 30 ετών, υποθέτοντας ότι σε μια τυπική γεώτρηση η εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης λαμβάνει χώρα τρεις φορές κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου (EPA, 2011) για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου καταναλώνονται τυπικά από 7.090.000 έως και 16.810.000 γαλόνια νερού ανά γεώτρηση.

Σύμφωνα με μελέτη του Πανεπιστημίου του Τέξας (University of Texas at Austin Bureau of Economic Geology - BEG), η συνολική κατανάλωση νερού για την υδραυλική ρωγμάτωση στο Τέξας αυξήθηκε κατά περίπου 125%, από 36.000 acres – ft το 2008 σε 81.500 acres-ft³ το 2011 (Nicot&Scanlon, 2012). Συγκριτικά, η πόλη του Austin με 800.000 κατοίκους χρησιμοποίησε περίπου 107.000 acres-ft νερού το 2011. Περίπου το ένα πέμπτο του συνολικού νερού που χρησιμοποιείται στο Τέξας προέρχεται από ανακυκλωμένο ή υφάλμυρο νερό, μια κατηγορία ύδρευσης που έχει αναπτυχθεί (Kalaswad, Christian, & Petrossian, 2012).

Το νερό το οποίο χρησιμοποιείται για την υδραυλική ρωγμάτωση του σχιστολιθικού σχηματισμού μπορεί να προέρχεται από επιφανειακά ύδατα (ποτάμια, λίμνες), υπόγεια ύδατα (πόσιμα και αλατούχα /υφάλμυρα), επεξεργασμένα απόβλητα λυμάτων, εγκαταστάσεις ανακύκλωσης νερού και τοπικές γεωτρήσεις, ενώ εναλλακτικές πηγές αποτελούν το επεξεργασμένο νερό ορυχείων και το νερό ψύξης από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (waste cooling water from electrical power plants) (Debra&Tracle, 2016).

³ Το acres-foot είναι μια μονάδα μέτρησης όγκου που χρησιμοποιείται ευρέως στις ΗΠΑ αναφορικά με μεγάλης κλίμακας υδατικούς πόρους (υδροφόρους ορίζοντες, ποταμούς κ.λπ.). Ένα acres-foot ισούται με 53.560 ft³. Ένας εμπειρικός κανόνας που ισχύει στις ΗΠΑ στη διαχείριση των υδάτινων πόρων, ένα acres-ft θεωρείται ότι είναι η προγραμματισμένη χρήση νερού για ένα προαστιακό οικογενειακό νοικοκυριό ετησίως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

Δεδομένου ότι η απαιτούμενη ποσότητα νερού για την όρυξη της γεώτρησης και την εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης πρέπει να αντληθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα, η επίπτωση στα αποθέματα του νερού είναι πολύ σημαντική, ειδικά σε περιοχές που αντιμετωπίζουν έντονα το φαινόμενο της λειψυδρίας. Η μεγάλη απαίτηση νερού μπορεί να έχει επίπτωση και στη μείωση της διαθέσιμης ποσότητας νερού που χρησιμοποιείται για παροχή πόσιμου νερού, ενώ η μείωση της ποσότητάς του, αλλά και η υποβάθμιση της ποιότητάς του μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υδρόβια ζωή, τα υδάτινα οικοσυστήματα, την αλιεία, την παράκτια βλάστηση, τη διαθεσιμότητα του νερού για την άγρια φύση, αλλά και να επιφέρει αλλαγές στη θερμοκρασία του νερού και σε φαινόμενα διάβρωσης (NETL, 2014). Τέλος, η κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων νερού μπορεί να δημιουργήσει δυσκολίες στην ικανοποίηση των τοπικών αναγκών σε νερό, επιφέροντας έντονες αντιδράσεις από τους κατοίκους της περιοχής, οι οποίοι έχουν ανάγκη τη χρήση του νερού σε οικονομικές δραστηριότητες όπως η γεωργία, η βιομηχανία, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής και η οικιακή χρήση (Zhang, 2015).

Σημειωτέον, η διαθεσιμότητα του νερού που απαιτείται για την υδραυλική ρωγμάτωση θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντικό εμπόδιο για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου σε ορισμένες περιοχές. Στην Κίνα, η διαθεσιμότητα του νερού ήδη αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την υδραυλική ρωγμάτωση. Ενώ η Κίνα διαθέτει τα μεγαλύτερα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου παγκοσμίως αντιμετωπίζει το φαινόμενο της λειψυδρίας στην λεκάνη Tarim, στην οποία εντοπίζεται το μεγαλύτερο μέρος των αποθεμάτων. Επιπλέον, οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί στην Κίνα απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού για την διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε σχέση με τις Η.Π.Α. ενώ το μεγαλύτερο μέρος των αποθεμάτων του σχιστολιθικού αερίου εντοπίζεται σε ορεινές περιοχές και σε μεγάλα βάθη. Επίσης κρίσιμο ζήτημα αποτελεί η λειψυδρία και στη Νότιο Αφρική, όπου έχουν εντοπιστεί μεγάλες ποσότητες σχιστολιθικού αερίου στην λεκάνη Karoon (Stockholm International Water Institute, 2014).

Τέλος, στον Πίνακα 5-4 γίνεται σύγκριση των ποσοτήτων νερού που απαιτούνται για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου, του συμβατικού φ.α. και του πετρελαίου, η οποία είναι εκφρασμένες σε γαλόνια ανά εκατομμύριο Βρετανικές Θερμικές μονάδες (gal/MMBtu). Η χρήση νερού είναι πολύ μεγάλη σε σύγκριση με την παραγωγή συμβατικού φ.α., αλλά μικρή σε σχέση με την παραγωγή πετρελαίου σε χερσαία κοιτάσματα, ιδιαίτερα με την εφαρμογή δευτερογενούς παραγωγής πετρελαίου με εισπίεση νερού ή την παραγωγή πετρελαίου από πετρελαιοφόρες άμμους (σε ισοδύναμη ενεργειακή βάση).

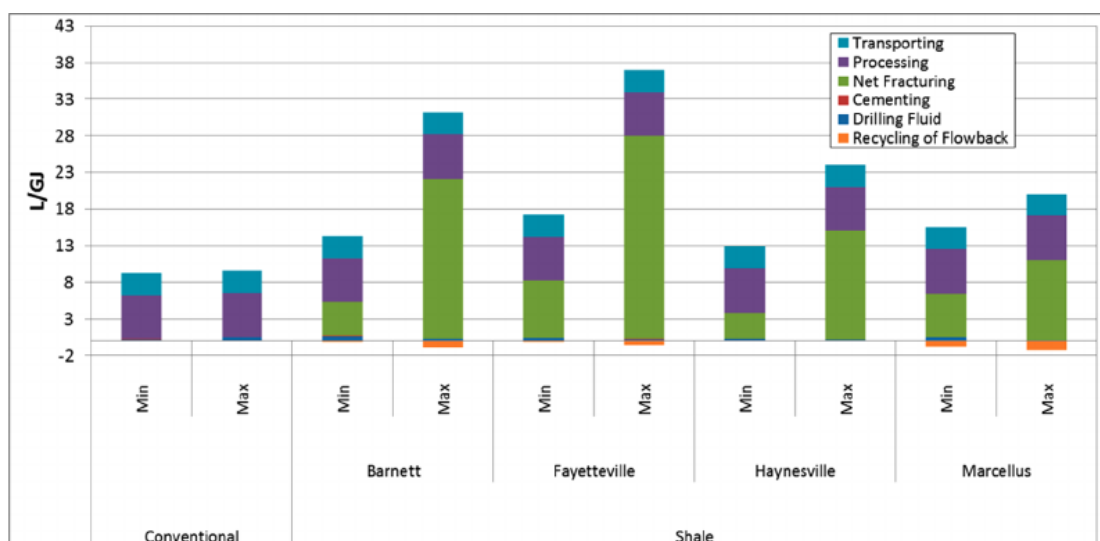
Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

Πίνακας 5-4: Κατανάλωση νερού ανάλογα με την τύπο του ενεργειακού πόρους (Council of Canadian Academies, 2014).

Fossil Fuel	Water Consumption (gal/MMBtu)
Oil (primary production)	1.4
Oil (secondary and enhanced oil recovery)	62–65
Oil Sands	13–33
Conventional Natural Gas	~0
Shale Gas	0.6–1.8

Μια επισκόπηση της κατανάλωσης νερού για τον κύκλο ζωής του σχιστολιθικού αερίου και του συμβατικού φ.α. ανά GJ παρουσιάζεται στην Εικόνα 5-2. Στο διάγραμμα γίνεται χρήση των ελάχιστων και μέγιστων τιμών για να απεικονίσουν το εύρος αβεβαιότητας και μεταβλητότητας μεταξύ των γεωτρήσεων σε κάθε σχιστολιθικό σχηματισμό. Για το συμβατικό φ.α., το κύριο μέρος της κατανάλωσης νερού συνήθως σχετίζεται με την επεξεργασία και τη μεταφορά, ενώ για το σχιστολιθικό αέριο οι τιμές ποικίλλουν ανάλογα με τον σχηματισμό.



Εικόνα 5-2: Κατανάλωση νερού για συμβατικό και σχιστολιθικό αέριο ανά στάδιο του κύκλου ζωής μιας γεώτρησης παραγωγής (Clark, Horner, & Harto, 2013).

Ενώ η κατανάλωση νερού για το συμβατικό φ.α. ποικίλει ελάχιστα (μεταξύ 9,3 και 9,6 L/GJ), η κατανάλωση νερού για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου ποικίλει σημαντικά (μεταξύ 13 και 37 L/GJ). Η μεταβλητότητα αυτή οφείλεται κυρίως στην ποσότητα του ρευστού υδραυλικής ρωγμάτωσης που χρησιμοποιείται και στον αριθμό των σταδίων της υδραυλικής ρωγμάτωσης που θα εφαρμοστεί σε μία γεώτρηση (Clark, Horner, & Harto, 2013).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

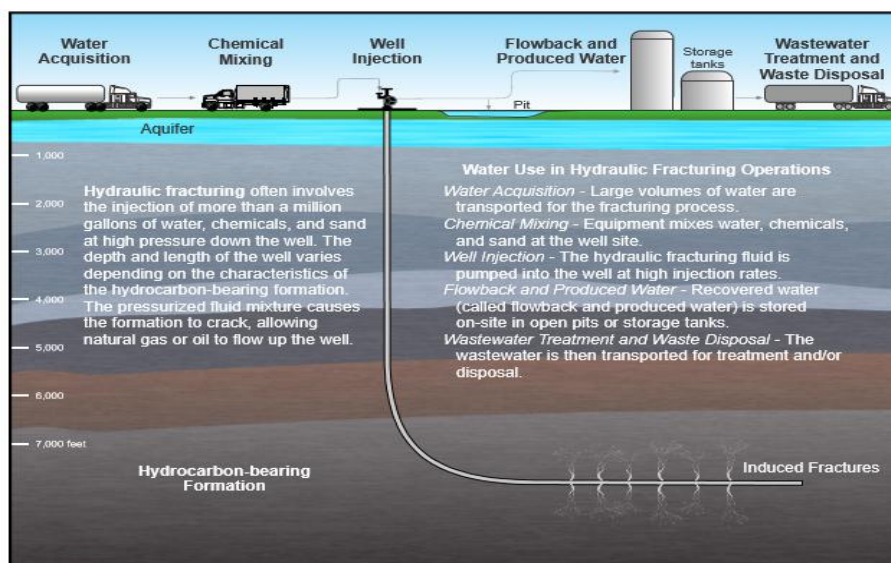
5.2.2. Ρύπανση υδάτων (water contamination)

Η ρύπανση των υδάτων αποτελεί την πιο σημαντική επίπτωση της ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου, δεδομένου ότι ενέχει κινδύνους όχι μόνο για τα υδάτινα οικοσυστήματα αλλά και για την ανθρώπινη υγεία.

Σύμφωνα με μελέτη που δημοσίευσε η EPA το 2011, διακρίνονται τέσσερα στάδια στον κύκλο του νερού που χρησιμοποιείται στην υδραυλική ρωγμάτωση (hydraulic fracturing water cycle), όπου η χρήση νερού και χημικών προϊόντων κατά την υδραυλική ρωγμάτωση θα μπορούσε να οδηγήσει σε δυνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του πόσιμου νερού (Εικόνα 5-3):

- Χημική ανάμειξη (chemical mixing): Οι επιφανειακές διαρροές ρευστών υδραυλικής ρωγμάτωσης στην περιοχή γύρω από τις θέσεις των γεωτρήσεων και των απορροών όμβριων υδάτων (stormwater runoff) μπορούν να επηρεάσουν τα αποθέματα των επιφανειακών και υπογείων υδάτων.
- Εισπίεση ρευστού στη γεώτρηση (well injection): Οι διαδικασίες εισπίεσης ρευστών της υδραυλικής ρωγμάτωσης μπορούν να οδηγήσουν σε απώλεια και μετανάστευση των ρευστών στο υπέδαφος.
- Νερό επιστροφής και παραγόμενο νερό (flowback and produced water): Το νερό επιστροφής μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα των υπόγειων και επιφανειών υδάτων.
- Διαχείριση αποβλήτων και απόθεση (waste water management and disposal): Η ανεπαρκής διαχείριση κατά τη μεταφορά, επεξεργασία και απόθεση των αποβλήτων μπορεί να επηρεάσει τους υπόγειους και επιφανειακούς υδάτινους πόρους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου



Εικόνα 5-3: Χρήση νερού κατά τη διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης (NETL, 2014).

Το ρευστό της υδραυλικής ρωγμάτωσης αποτελείται κυρίως από νερό και άμμο (98% - 99,5%) και το υπόλοιπο (2% - 0,5%) αποτελείται από χημικές ουσίες, ο σκοπός των οποίων είναι η διευκόλυνση της διαδικασίας και η βελτίωση της απόδοσης του ρευστού. Παρά το γεγονός ότι το ποσοστό αυτό είναι χαμηλό, η συνολική ποσότητα και επικινδυνότητα των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται είναι σημαντικά μεγάλη (Πίνακας 5-5). Για παράδειγμα, σε μια εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης η οποία χρησιμοποιεί 15 εκατομμύρια λίτρα νερού, περιέχονται 75.000 λίτρα χημικών ουσιών. Μέρος αυτής της ποσότητας θα παραμείνει μέσα στον σχιστολιθικό σχηματισμό, ενώ το υπόλοιπο μέρος επιστρέφει στην επιφάνεια (το λεγόμενο flowback and produced water), το οποίο είτε επαναχρησιμοποιείται, είτε αποτίθεται σε κατάλληλες εγκαταστάσεις διάθεσης αποβλήτων ή επανεισάγεται στο υπέδαφος μέσω γεωτρήσεων εισπίεσης κλάσης II (Stockholm International Water Institute, 2014).

Πίνακας 5-5: Σύσταση ρευστού υδραυλικής ρωγμάτωσης και επικινδυνότητα (Cooper, Stamford, & Azapag, ShaleGas: A Review of the Economic, Environmental, and Social Sustainability, 2016).

Chemical	Purpose	Hazard
hydrochloric acid	dissolves minerals and initiates rock fractures	corrosive and toxic
polyacrylamide	reduces friction of fluid	harmful and toxic
ethylene glycol	reduces friction of fluid	harmful and carcinogenic
ammonium persulfate	delays breakdown of the fluid	oxidizing and toxic
sodium chloride	delays breakdown of the fluid and prevents clay swelling	irritant
methanol	prevents pipe corrosion and reduces friction of fluid	flammable and toxic
formic acid	prevents pipe corrosion	flammable and corrosive
glutaraldehyde	kills bacteria in the water	corrosive and toxic
quaternary ammonium chloride	kills bacteria in the water	corrosive

Το ρευστό το οποίο επιστρέφει στην επιφάνεια (flowback water), δεν περιέχει μόνο τα χημικά πρόσθετα που αναμίχθηκαν με το ρευστό της υδραυλικής ρωγμάτωσης, αλλά επίσης και το νερό του σχηματισμού, το οποίο μπορεί να έχει υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυμένα στερεά. Τα εν λόγω διαλυμένα είναι κυρίως άλατα, αλλά μπορεί να περιλαμβάνουν υψηλά επίπεδα φυσικών ραδιενεργών ουσιών (N.O.R.M. – Naturally Occurring Radioactive Material) και βαρέων μετάλλων, ιχνοστοιχεία (αρσενικό, βάριο κ.λπ.), πέραν από το μεθάνιο που απελευθερώνεται (Council of Canadian Academies, 2014) Το ρευστό επιστροφής αποθηκεύεται σε κατάλληλες δεξαμενές, είτε μέσω φορτηγών οδηγείται σε γεωτρήσεις εισπίεσης κλάσης II, οι οποίες αποθέτουν το νερό επιστροφής σε υπόγειους πορώδεις σχηματισμούς, με αποτέλεσμα να το απομονώνουν από τις πηγές πόσιμου νερού. Ωστόσο μέρος του νερού επιστροφής μπορεί να διαρρεύσει στο έδαφος γύρω από τις γεωτρήσεις, με αποτέλεσμα να μολύνει την περιοχή και να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία των εργαζομένων και της γειτονικής κοινότητας. Πολλές περιπτώσεις ατυχημάτων έχουν καταγραφεί, όπου τα φορτηγά που μετέφεραν το νερό επιστροφής υπέστησαν διαρροή, με το άνοιγμα των βαλβίδων, επιτρέποντας στο νερό να ρέει στους δρόμους, είτε όπου το νερό μεταφερόταν και εκχυνόταν σε ποτάμια και λίμνες αντί στις γεωτρήσεις εισπίεσης (Stockholm International Water Institute, 2014).

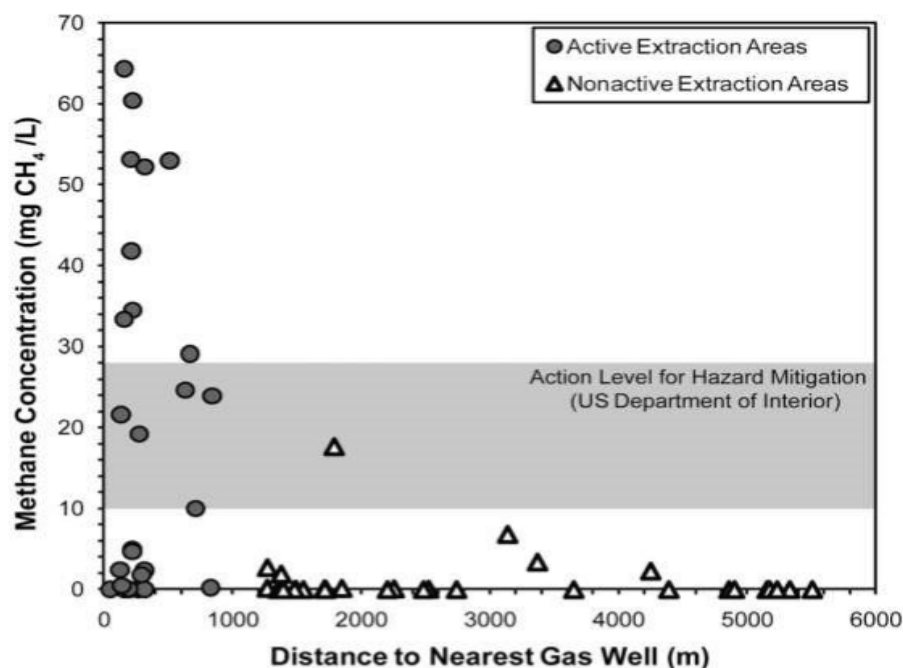
Οι ανησυχίες σχετικά με την ποιότητα του νερού επικεντρώνονται στον κίνδυνο ρύπανσης του πόσιμου νερού από το μεθάνιο ή τα ρευστά που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Οι μείζονες κίνδυνοι για τη ρύπανση των υδάτων απορρέουν από τον *ανεπαρκή σχεδιασμό/κατασκευή της γεώτρησης*, ο οποίος επιτρέπει τη διαρροή των ρευστών της γεώτρησης και της υδραυλικής ρωγμάτωσης στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, τη μετανάστευση του μεθανίου από τον σχιστολιθικό σχηματισμό σε ρηχούς υδροφόρους ορίζοντες, όπου μπορεί να διαλυθεί στο πόσιμο νερό και τέλος τη διαρροή του φ.α. από το εσωτερικό της γεώτρησης στον υδροφόρο ορίζοντα (ΑΕΑ, 2012).

Επίσης, μια άλλη δίοδος πιθανής ρύπανσης, λόγω κακής κατασκευής της γεώτρησης, είναι οι *μακροχρόνια εγκαταλελειμμένες γεωτρήσεις* και οι *υπάρχουσες ρωγματώσεις*. Η όρυξη και η υδραυλική ρωγμάτωση μπορούν να συνδεθούν με υπάρχουσες ρωγματώσεις ή εγκαταλελειμμένες γεωτρήσεις με ανεπαρκή σφράγιση, που επιτρέπουν τη μετανάστευση αερίων και ρύπων μέσω του υπεδάφους (NETL, 2014). Αέριο το οποίο έχει υψηλότερη πίεση από τους βαθύτερους σχηματισμούς δύναται να βρει διέξοδο μέσω της ανεπαρκούς τσιμέντωσης, σε μια ρηχότερη ζώνη χαμηλότερης πίεσης, η οποία με τη σειρά της μπορεί να

επικοινωνεί με έναν ακόμα πιο ρηχό υδροφόρο ορίζοντα μέσω της εγκαταλειμμένης γεώτρησης (Stockholm International Water Institute, 2014).

Το Πανεπιστήμιο Duke, τον Ιούνιο του 2011, δημοσίευσε μελέτη για την όρυξη γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου, την υδραυλική ρωγμάτωση και τις επιπτώσεις στα αποθέματα νερού, στον σχιστόλιθο Marcellus στην πολιτεία της Πενσυλβανία και στον σχιστόλιθο Utica στην πολιτεία της Νέας Υόρκης. Σύμφωνα με την μελέτη, εντοπίστηκαν συγκεντρώσεις μεθανίου σε 51 γεωτρήσεις πόσιμου νερού, οι οποίες ήταν κατά μέσο όρο έξι φορές υψηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές του νερού των γεωτρήσεων που βρίσκονταν σε μεγαλύτερη απόσταση (Jackson, Vengosh, Darrah, Warner, &Down, 2013). Οι ερευνητές αποφάνθηκαν ότι δεν υπάρχουν ενδείξεις για οποιαδήποτε χημική ρύπανση από την όρυξη της γεώτρησης - ούτε χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης, ούτε αλμυρό νερό που επιστρέφει στην επιφάνεια μετά την περάτωση της διαδικασίας. Η μελέτη αναφέρει ότι οι δύο απλούστερες εξηγήσεις για τη ρύπανση του πόσιμου νερού είναι η ανεπαρκής σωλήνωση και τσιμεντώση της γεώτρησης (Rezaee, 2015).

Συμπληρωματικά, η μελέτη των Osbourn et al. (2011) έδειξε συστηματικά στοιχεία για τη ρύπανση του πόσιμου νερού με μεθάνιο που φέρεται να σχετίζεται με την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου, όπου η μέση κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων πόσιμου νερού και του σχιστολιθικού αερίου ήταν μεταξύ 900 και 1800 m. Σε περιοχές ενεργής εξόρυξης φ.α., οι μέσες συγκεντρώσεις μεθανίου σε φρέατα πόσιμου ύδατος ήταν 19,2 mg/λίτρο και τα μέγιστα επίπεδα έφθαναν τα 64 mg/λίτρο, που συνεπάγεται κίνδυνο έκρηξης. Η συγκέντρωση περιβάλλοντος σε γειτονικές περιοχές παρόμοιας γεωλογικής δομής χωρίς εξόρυξη αερίου ήταν 1,1 mg/λίτρο (Osborn, StephenG.; Vengosh, Avner; Warner, NathanielR.; Jackson, RobertB., 2011). Στην Εικόνα 5-4 απεικονίζεται η μεταβολή της μετρούμενης συγκέντρωσης μεθανίου (φ.α.) σε δείγματα υπογείων υδάτων συναρτήσει της απόστασης από ενεργές και μη γεωτρήσεις σχιστολιθικού αερίου στην Πενσυλβανία, στις ΗΠΑ. Προφανώς, οι συγκεντρώσεις του μεθανίου στα αποθέματα νερού είναι υψηλότερες κοντά στις εν λειτουργία γεωτρήσεις.



Εικόνα 5-4:Διάγραμμα μεταβολής της μετρούμενης συγκέντρωσης μεθανίου (φυσικού αερίου) σε δείγματα υπογείων υδάτων συναρτήσει της απόστασης από ενεργές και μη ενεργές γεωτρήσεις στην Πενσυλβάνια, ΗΠΑ (Osborn, Stephen G.; Vengosh, Avner; Warner, Nathaniel R.; Jackson, Robert B., 2011).

Τον Δεκέμβριο του 2008, πραγματοποιήθηκε έκρηξη σε κατοικία στην κομητεία Geauga του Οχάιο, η οποία προκλήθηκε από εργασίες σε γεώτρηση σχιστολιθικού αερίου και επακόλουθη διείσδυση μεθανίου στο σύστημα υδροδότησης της κατοικίας. Στην έκθεση της Υπηρεσίας Φυσικών Πόρων εντοπίζονται τρεις παράγοντες οι οποίοι οδήγησαν στην έκρηξη: (i) ακατάλληλη τσιμέντωση της παραγωγικής σωλήνωσης, (ii) απόφαση για πραγματοποίηση υδραυλικής ρωγμάτωσης χωρίς να ληφθεί υπόψη η ακατάλληλη τσιμέντωση της σωλήνωσης και, κυρίως, (iii) το διάστημα των 31 ημερών μετά την εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης κατά το οποίο ο δακτύλιος της γεώτρησης ήταν «ως επί το πλείστον κλειστός». Σημειωτέον, η ταινία Gaslands (2010) έδειξε ότι το ρυπασμένο με μεθάνιο νερό που έρρεε από τις βρύσες σπιτιών, οι οποίες βρίσκονταν κοντά σε γεωτρήσεις σχιστολιθικού αερίου μπορούσε να αναφλεχθεί λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων μεθανίου (Εικόνα 5-5) (The Telegraph, 2010).



Εικόνα 5-5: Νερό βρύσης που αναφλέγεται λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων μεθανίου που περιέχει (TheTelegraph, 2010).

Αντίθετα, το 2010 και 2011 το Κέντρο της Αγροτικής Πενσυλβάνια (Center for Rural Pennsylvania) προχώρησε στην ανάλυση δειγμάτων νερού από ιδιωτικά πηγάδια που βρίσκονται σε απόσταση 5.000 ft από γεωτρήσεις σχιστολιθικού αερίου στον σχηματισμό Marcellus. Τα αποτελέσματα έδειξαν διαλυμένο μεθάνιο σε περίπου 20% των γεωτρήσεων νερού πριν από την όρυξη των σχιστολιθικών γεωτρήσεων. Η ανάλυση μετά την κατασκευή των γεωτρήσεων δεν έδειξε σημαντική αύξηση των ρύπων από τα ρευστά της διάτρησης και καμία σημαντική αύξηση του μεθανίου. Σε κάποια δείγματα, παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) και χλωριούχου ύλης μετά από την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου (Boyer, Swistock, Clark, Madden, &Rizzo, 2012).

5.2.3. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (greenhouse gas – GHG emissions)

Το σχιστολιθικό αέριο ως ορυκτό καύσιμο, οδηγεί μέσω της παραγωγής και της χρήσης του σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου, τα οποία, ως αέρια του θερμοκηπίου, συμβάλλουν στην αλλαγή του κλίματος. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του σχιστολιθικού αερίου σε σχέση με την ανθρωπογενή αλλαγή του κλίματος δεν είναι σαφές. Η μελέτη των O'Sullivan & Paltsev (2012) για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του σχιστολιθικού αερίου, αναφέρει ότι «οι εκτιμήσεις για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από την παραγωγή και τη χρήση σχιστολιθικού αερίου είναι αμφιλεγόμενες» (O'Sullivan&Paltsev, 2012). Η Βρετανική Γεωλογική Έρευνα (British Geological Survey) έχει καταλήξει στο συμπέρασμα ότι «το συνολικό αποτύπωμα του σχιστολιθικού φ.α., συμπεριλαμβανομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

των άμεσων και έμμεσων εκπομπών τόσο διοξειδίου του άνθρακα όσο και του μεθανίου, δεν έχει ακόμη πλήρως κατανοηθεί».

Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που προκύπτουν άμεσα από τις εργασίες εξόρυξης του σχιστολιθικού αερίου συνήθως ταξινομούνται ως εξής:

- i. Απαγόμενες εκπομπές (vented emissions) μεθανίου και CO₂.
- ii. Διαφεύγουσες εκπομπές (fugitive emissions).
- iii. Εκπομπές ατελούς καύσης (incomplete combustion emissions).

Οι απαγόμενες εκπομπές (vented emissions) είναι εσκεμμένες απελευθερώσεις αερίων που σχετίζονται με τις συνήθειες διαδικασίες ή τις διαδικασίες ασφαλείας. Οι διαφεύγουσες εκπομπές (fugitive emissions) είναι ακούσιες απελευθερώσεις αερίων από διαρροές και δυσλειτουργίες του εξοπλισμού. Οι εκπομπές ατελούς καύσης προέρχονται από τους κινητήρες (όπως κινητήρες ντίζελ που χρησιμοποιούνται για την όρυξη της γεώτρησης, υδραυλική ρωγμάτωση και την συμπίεση του φ.α.) και από την καύση σχιστολιθικού αερίου.

Το 2011, το Πανεπιστήμιο Cornell δημοσίευσε μια μελέτη σχετικά με τις επιπτώσεις του σχιστολιθικού αερίου, σύμφωνα με την οποία το φ.α. που παράγεται μέσω της διαδικασίας της υδραυλικής ρωγμάτωσης παράγει περισσότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από ό,τι ο γαιάνθρακας, λόγω της διαρροής μεθανίου στην ατμόσφαιρα (3,6% έως 7,9% του μεθανίου που παράγεται διαρρέει στην ατμόσφαιρα). Συγκεκριμένα, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τον κύκλο ζωής του σχιστολιθικού αερίου ήταν υψηλότερες κατά 30% τουλάχιστον και ίσως διπλάσιες από του γαιάνθρακα (Howarth, Santoro, & Ingraffea, 2011). Ωστόσο, η μελέτη αυτή χαρακτηρίστηκε αμφιλεγόμενη, διότι επέλεξε ως κύκλο ζωής του σχιστολιθικού αερίου τα 20 έτη και όχι την τιμή των 100 ετών, που συνήθως επιλέγεται σε τέτοιες μελέτες. Το μεθάνιο ως ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου έχει ως ελάχιστη τιμή του κύκλου ζωής τα 20 χρόνια, με αποτέλεσμα η επιλεγθείσα τιμή του κύκλου ζωής να υπερεκτιμά κατά πολύ τα αποτελέσματα των εκπομπών και διαρροών. Σημειωτέον, η μελέτη των Cathlesetal. (2012) υποστηρίζει ότι προηγούμενη μελέτη (Howarth, Santoro, & Ingraffea, 2011) είναι σοβαρά εσφαλμένη, καθώς μεταξύ των άλλων υποθέτει πολύ υψηλά επίπεδα διαρροών που σχετίζονται με την εξόρυξη του μη συμβατικού φ.α. Επίσης, μελέτες του Εθνικού Εργαστηρίου Ενεργειακών Τεχνολογιών (NETL) του Ινστιτούτου Worldwatch, CarnegieMellon και DeutschBank αμφισβήτησαν αυτά τα συμπεράσματα και έδειξαν ότι η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου έχει αποτύπωμα GHG 20-50% χαμηλότερο από αυτό του γαιάνθρακα.

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Τον Απρίλιο του 2013, η EPA μείωσε δραματικά την εκτίμησή της σχετικά με το ποσοστό διαρροής αερίων σε λιγότερα από τα μισά από αυτά που είχαν εκτιμηθεί το 2011. Σύμφωνα με τη νέα μελέτη: α) το πραγματικό ποσοστό εκπομπών φ.α. ανά μονάδα παραγωγής φ.α. είναι 1,5% (αυτός ο ρυθμός εκπομπών είναι χαμηλότερος από τις προηγούμενες εκτιμήσεις που ανέρχονταν σε 2,2-2,4%), και β) οι εκτιμήσεις για τις εκπομπές μεθανίου ήταν 33% χαμηλότερες από αυτές που είχαν εκτιμηθεί το 2011.

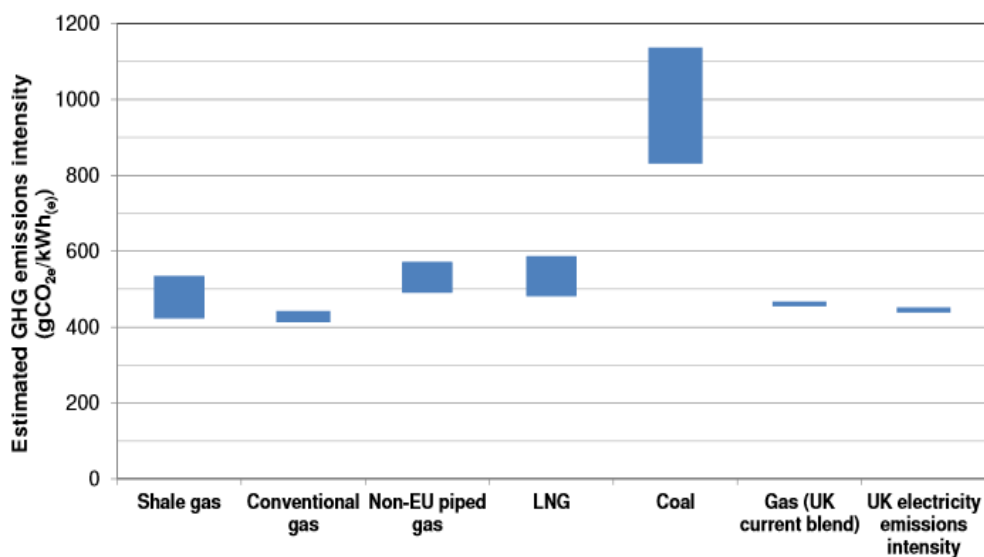
Το Πανεπιστήμιο του Τέξας στο Austin δημοσίευσε το 2013 μια μελέτη (Allen, etal., 2013) με τίτλο «Measurements of Methane Emissions at Natural Gas Production Sites in the United States», η οποία ήταν η πρώτη που βασιζόταν σε άμεσες επί τόπου μετρήσεις εκπομπών μεθανίου στη γεώτρηση. Διεξήχθησαν άμεσες μετρήσεις εκπομπών μεθανίου σε 150 πεδία παραγωγής, σε επιστροφές νερού μετά την ολοκλήρωση σε 27 γεωτρήσεις (well completion flowbacks), σε εκφόρτιση των ρευστών σε 9 γεωτρήσεις (well unloadings) πριν αυτές τεθούν σε παραγωγή (removing the column of kill fluid from the wellbore to initiate flow from the reservoir) και σε εργασίες συντήρησης (workovers) σε 4 γεωτρήσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες. Σύμφωνα με την έκθεση, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν πολύ χαμηλότερους ρυθμούς εκπομπών μεθανίου, ιδίως όσον αφορά τις εκροές από την ολοκλήρωση των γεωτρήσεων (well completion flowbacks), σε σχέση με τις εκτιμήσεις της EPA, με μέση ολική διαρροή μεθανίου 0,42% στο σύνολο του παραγόμενου φ.α. (Allen, etal., 2013).

Η μελέτη «Potential Greenhouse Gas Emissions Associated with Shale Gas Extraction and Use» (MacKay, 2013) εξετάζει τις πιθανές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στο Ηνωμένο Βασίλειο. Τα βασικά συμπεράσματα της μελέτης είναι:

- Το αποτύπωμα του CO₂ (ένταση εκπομπών, Εικόνα 5-6) της εξόρυξης και χρήσης σχιστολιθικού αερίου είναι πιθανό να κυμαίνεται μεταξύ 200-253 g CO₂ ανά kWh ηλεκτρικής ενέργειας, πράγμα που καθιστά το συνολικό αποτύπωμα του σχιστολιθικού αερίου συγκρίσιμο με του φ.α. που εξάγεται από συμβατικές πηγές (199-207 g CO₂ ανά kWh) και χαμηλότερο από το αποτύπωμα του υδροποιημένου φ.α. (233-270 g CO₂ ανά kWh). Όταν το σχιστολιθικό αέριο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας, το αποτύπωμα του είναι πιθανό να ανέρχεται σε 423-535 g CO₂ ανά kWh, το οποίο είναι σημαντικά χαμηλότερο από το αποτύπωμα του γαιάνθρακα, 837-1130 g CO₂ ανά kWh.
- Με επαρκή ρύθμιση, οι τοπικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τις εργασίες σχιστολιθικού αερίου θα πρέπει να αντιπροσωπεύουν μόνο ένα μικρό ποσοστό των

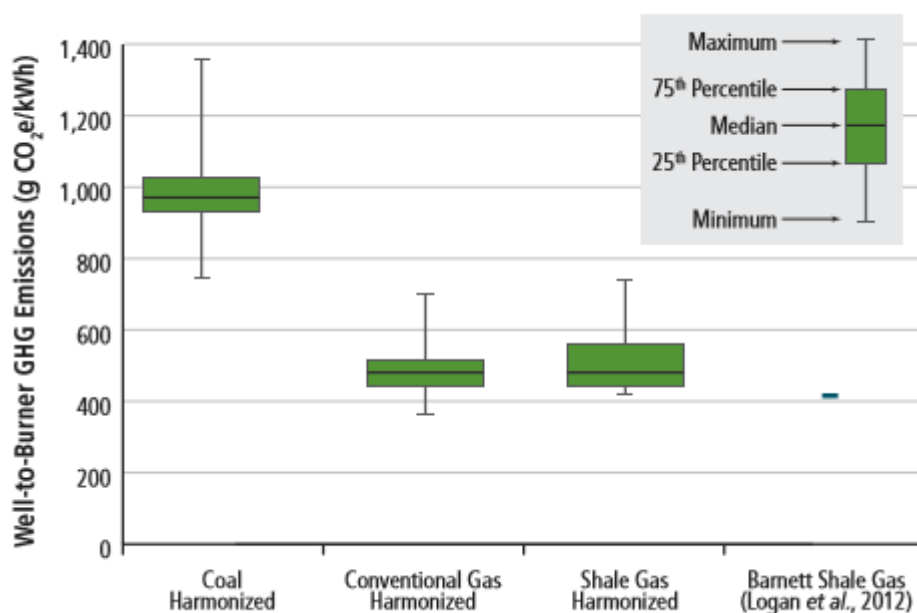
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του σχιστολιθικού αερίου, το οποίο πιθανόν να κυριαρχείται από τις εκπομπές CO₂ που συνδέονται με την καύση του.



Εικόνα 5-6: Σύγκριση των εκπομπών του κύκλου ζωής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από διάφορες πηγές αερίου και γαιάνθρακα (MacKay, 2013).

Ορισμένες μελέτες έχουν εκτιμήσει τις συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για το σχιστολιθικό αέριο (total-well-to-burner GHG emissions), συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής, της επεξεργασίας, της μεταφοράς και της καύσης του. Η έκθεση JISEA που εξέτασε την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στο σχιστόλιθο Barnett κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι συνολικές εκπομπές (well-to-burner) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν σχεδόν ίδιες με αυτές του συμβατικού φ.α. (Logan, Heath, Paranhos, Boyd, & Carlson, 2012). Η Εικόνα 5-7 παρουσιάζει αυτά τα αποτελέσματα με γραφικό τρόπο, συγκρίνοντας το κύκλο ζωής των αερίων του θερμοκηπίου που έχει εκτιμηθεί για τον σχηματισμό Barnett με το εύρος των εκτιμήσεων για τις συνολικές (well-to-burner) εκπομπές σε σχέση με τον γαιάνθρακα, το συμβατικό φ.α. και το μη συμβατικό φ.α. μετά από μεθοδολογική εναρμόνιση. Η εναρμόνιση είναι μια διαδικασία που συγκρίνει διαφορετικές μελέτες, εξασφαλίζοντας ότι χρησιμοποιούν ένα συνεπές σύνολο διαδικασιών και μετρήσεων και ότι η μεταβλητότητα μειώνεται με τον καθορισμό χαρακτηριστικών πόρων πρωτογενούς ενέργειας και βασικών παραμέτρων απόδοσης, των οποίων οι τιμές βασίζονται σε κάποιο σύγχρονο σύστημα αναφοράς (Heath & Mann, 2012) (Whitaker, Heath, O'Donoughu, & Vorum, 2012).



Εικόνα 5-7: Εκτιμήσεις για τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (well-to-burner) που συνδέονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα, συμβατικό αέριο, μη συμβατικό αέριο και σχιστολιθικό αέριο από τον σχηματισμό Barnett μετά από μεθοδολογική εναρμόνιση (Logan, Heath, Paranhos, Boyd, & Carlson, 2012).

Εν γένει όλες οι δημοσιευμένες μελέτες συγκλίνουν στο ότι η σημαντικότερη πηγή εκπομπών είναι οι διαφεύγουσες εκπομπές (fugitive emissions) κατά τη διάρκεια της υδραυλικής ρωγμάτωσης και ολοκλήρωσης της γεώτρησης, δηλαδή μετά την όρυξη της γεώτρησης και πριν ξεκινήσει η εμπορική παραγωγή. Μόλις ολοκληρωθεί η γεώτρηση, τα ρευστά που επιστρέφουν αρχικά στην επιφάνεια περιλαμβάνουν τα ρευστά της υδραυλικής ρωγμάτωσης, το νερό επιστροφής και το φ.α. από τον σχηματισμό παραγωγής, μαζί με μια μικρή ποσότητα πρόσθετου συγκράτησης ανοιχτών ρωγμών (proppant), συνήθως άμμου (EPA, 2011).

5.2.4. Συνολική ρύπανση της ατμόσφαιρας (total air pollution)

Οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα που οφείλονται στην ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου προέρχονται συνήθως από τις ίδιες πηγές (π.χ. γεωτρύπανα, κινητήρες φορτηγών, συμπιεστές αερίου, απαγόμενες εκπομπές-vents, και καύσεις σε πυρσό-flares), όπως αυτές που συνδέονται με τη παραγωγή του συμβατικού φ.α. και άλλες μορφές εξόρυξης και βιομηχανικής δραστηριότητας. Η κύρια διαφορά είναι ότι αυτές οι πηγές παρουσιάζουν μεγαλύτερες εκπομπές κατά την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου, λόγω της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής της γεώτρησης, των περισσότερων φορτηγών που χρησιμοποιούνται, των

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

ισχυρότερων αντλιών και των μεγαλύτερων δεξαμενών και, συνολικά, λόγω της πρόσθετης προσπάθειας που απαιτείται για την εξαγωγή του φ.α. από τον σχιστόλιθο.

Εκτός από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), οι διαφεύγουσες εκπομπές φ.α. μπορούν να απελευθερώσουν πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) και επικίνδυνους ατμοσφαιρικούς ρύπους (HAPs), όπως το βενζόλιο. Τα οξείδια του αζώτου (NO_x) είναι ένας άλλος ανησυχητικός ρύπος, καθώς η όρυξη, η υδραυλική ρωγμάτωση και ο εξοπλισμός συμπίεσης - που συνήθως λειτουργούν με μεγάλους κινητήρες εσωτερικής καύσης – έχουν τέτοιες εκπομπές.

Διάφορες μελέτες έδειξαν ότι η παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου αποτελεί σημαντική πηγή τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Για παράδειγμα, οι αέριες εκπομπές από τις δραστηριότητες εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου στο Κολοράντο το 2008 αντιπροσώπευαν το 48% των πτητικών οργανικών ενώσεων, το 18% των NO_x και το 15% του βενζόλιο, στο σύνολο των εκπομπών στην Πολιτεία αυτή, με αποτέλεσμα αυξημένα επίπεδα όζοντος και HAPs (Hazard Air Pollutants) κοντά στις περιοχές των γεωτρήσεων (Wells, 2012). Οι εκπομπές αυτές έχουν άμεσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, καθώς τα άτομα που εκτίθενται σε τοξικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους σε ικανές συγκεντρώσεις και διάρκεια έκθεσης μπορεί να έχουν αυξημένες πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου ή άλλων σοβαρών επιπτώσεων στην υγεία. Αυτές οι επιπτώσεις στην υγεία μπορεί να περιλαμβάνουν βλάβες στο ανοσοποιητικό σύστημα, καθώς και νευρολογικά, αναπαραγωγικά (π.χ. μειωμένη γονιμότητα), αναπτυξιακά, αναπνευστικά και άλλα προβλήματα υγείας (EPA). Ωστόσο, υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με τις επιπτώσεις αυτών των εκπομπών, καθώς η ποιότητα του αέρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές συνθήκες. Για παράδειγμα, σε ορισμένες περιοχές, οι εκπομπές VOCs δεν είναι η κύρια αιτία σχηματισμού όζοντος. Επομένως, απαιτείται λεπτομερής μοντελοποίηση για να κατανοηθεί ο αντίκτυπος των εκπομπών στην τοπική ποιότητα του αέρα.

Ένας άλλος τοπικός ατμοσφαιρικός ρύπος αυξανόμενης ανησυχίας είναι η σκόνη κρυσταλλικού πυριτίου (crystalline silica dust), η οποία μπορεί να δημιουργηθεί από τα πρόσθετα (άμμος) που χρησιμοποιούνται στο ρευστό της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η σκόνη μπορεί να δημιουργηθεί κατά την εξόρυξη και τη μεταφορά της άμμου στη θέση της γεώτρησης και κατά τη διαδικασία της μετακίνησης και της ανάμειξης της άμμου μέσα στο ρευστό της υδραυλικής ρωγμάτωσης στη γεώτρηση. Η σκόνη κρυσταλλικού πυριτίου εισπνεόμενου μεγέθους (< 4 μικρά) θεωρείται επικίνδυνος ατμοσφαιρικός ρύπος (HAP) και καρκινογόνος. Εκτός από τον αυξημένο κίνδυνο καρκίνου του πνεύμονα, η έκθεση σε

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

κρυσταλλικό πυρίτιο μπορεί να οδηγήσει σε μια χρόνια, φλεγμονώδη πνευμονική νόσο που ονομάζεται πυριτίαση (Wisconsin Department of Natural Resources, 2011). Μια πρόσφατη μελέτη 11 διαφορετικών πεδίων όπου παράγεται σχιστολιθικό αέριο με υδραυλική ρωγμάτωση, σε πέντε διαφορετικές Πολιτείες, από ερευνητές του Εθνικού Ινστιτούτου για την Ασφάλεια και Υγεία στην Εργασία (NIOSH), διαπίστωσε ότι τα επίπεδα κρυσταλλικού πυριτίου υπερέβαιναν τα όρια έκθεσης που συνιστώνται από το NIOSH (REL) στο 79% των δειγμάτων, ενώ οι τιμές στο 31% των δειγμάτων υπερέβαιναν το όριο κατά 10% (Esswein, Kiefer, Snawder, & Breitenstein, 2012).

Απαντώντας σε αυστηρότερα πρότυπα εκπομπής ρύπων που απαίτησε η EPA από τη βιομηχανία πετρελαίου και φ.α., και περιορίζοντας το λειτουργικό κόστος, εταιρείες όπως η Cabot Oil&Gas, ένας κορυφαίος ανεξάρτητος παραγωγός φ.α. με σημαντική δραστηριότητα στο σχιστόλιθο Marcellus, ανακοίνωσε πρόσφατα ότι χρησιμοποιεί το φ.α. από τον Marcellus για τη ρωγμάτωση των σχηματισμών μέσω μιας καινοτόμου τεχνολογίας διπλού καυσίμου. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας, η οποία χρησιμοποιεί κινητήρες που λειτουργούν με μείγμα φ.α. και ντίζελ, μπορεί να συμβάλει στη μείωση της χρήσης του ντίζελ - του παραδοσιακού καυσίμου για τη λειτουργία του εξοπλισμού της υδραυλικής ρωγμάτωσης - έως και κατά 70%. Η τεχνολογία διπλής καύσης προσφέρει πολλά οφέλη: 1) Μείωση των εκπομπών αερίων για καθαρότερο περιβάλλον, λόγω της μείωσης της χρήσης ντίζελ. 2) Μειωμένη κυκλοφορία φορτηγών όταν το πεδίο σχιστολιθικού αερίου βρίσκεται κοντά στη θέση της γεώτρησης. 3) Μειωμένο κόστος, καθώς το φ.α. μπορεί να είναι λιγότερο δαπανηρή επιλογή καυσίμου από το πετρέλαιο ντίζελ, παρέχοντας δυνητική εξοικονόμηση κόστους για τη βιομηχανία και τους καταναλωτές ενέργειας (Rezaee, 2015).

5.2.5. Διεγερόμενη σεισμικότητα (stimulated seismicity)

Οι μηχανισμοί με τους οποίους η εισπίεση ρευστών στο υπέδαφος μπορεί να διεγείρει τη σεισμικότητα (δηλαδή την πρόκληση σεισμών) έχουν ήδη αναγνωριστεί από τη δεκαετία του 1920. Οι κυριότεροι καθοριστικοί παράγοντες της διεγερόμενης σεισμικότητας είναι:

- i. η αλλαγή της πίεσης με το βάθος,
- ii. η αλληλεπίδραση μεταξύ της αλλαγής της πίεσης και προϋπάρχοντος ρήγματος,
- iii. ο όγκος του εισπιεζόμενου ρευστού (μεγαλύτεροι όγκοι δημιουργούν μεγαλύτερες πιέσεις που δρουν σε μεγαλύτερες περιοχές) και
- iv. ο ρυθμός εισπίεσης στην περίπτωση εισπίεσης αποβλήτων (καθώς η ταχύτερη εισπίεση παράγει υψηλότερη πίεση).

Ο κίνδυνος ανεπιθύμητης σεισμικότητας που προκαλείται από την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου διακρίνεται μεταξύ δύο τύπων σεισμικότητας:

- ❖ *Επαγόμενη σεισμικότητα (induced seismicity)*: Οφείλεται στην ανάπτυξη, λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας, νέων ρωγματώσεων που αλλάζουν την κατανομή των τάσεων σε γεωλογικούς σχηματισμούς (π.χ. μέσω της άντλησης ρευστών από έναν σχηματισμό). Οι επαγόμενοι σεισμοί μικρής εντάσεως δεν γίνονται αισθητοί από τους ανθρώπους.
- ❖ *Ενεργοποιούμενη σεισμικότητα (triggered seismicity)*: Συμβαίνει όταν η ανθρώπινη δραστηριότητα προκαλεί σεισμικά γεγονότα που διαφορετικά θα μπορούσαν να συμβούν στο μέλλον. Η ενεργοποιούμενη σεισμικότητα κατά μήκος σημαντικών ρηγμάτων (> 10 χλμ., ανάλογα με το βάθος) μπορεί να προκαλέσει σεισμικά γεγονότα επαρκούς μεγέθους για να βλάψουν τα κτίρια και να διαταράξουν τη δημόσια ζωή.

Η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου έχει συνδεθεί με τους δύο παραπάνω τύπους σεισμικότητας, κατά τη διάρκεια της υδραυλικής ρωγμάτωσης όπου διεγείρεται ο σχιστολιθικός σχηματισμός, και κατά την εισπίεση των ρευστών επιστροφής- αποβλήτων σε γεωτρήσεις εισπίεσης.

5.2.5.1. Σεισμικότητα και υδραυλική ρωγμάτωση (hydraulic fracturing)

Κατά τη διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης, η εισπίεση του ρευστού στη γεώτρηση υπό υψηλή πίεση προκαλεί χιλιάδες μικρά σεισμικά γεγονότα, καθώς δημιουργούνται ρωγματώσεις που αλλάζουν την διαπερατότητα του σχιστολίθου προκειμένου το αέριο του σχηματισμού να οδηγηθεί στη γεώτρηση. Οι σεισμοί που προκαλούνται δεν γίνονται αντιληπτοί στην επιφάνεια. Οι ειδικοί, στη συνέχεια, μειώνουν την πίεση επιτρέποντας στα εισπιεζόμενα ρευστά να επιστρέψουν πίσω στην επιφάνεια. Ενώ το μεγαλύτερο μέρος της επαγόμενης σεισμικότητας εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της υδραυλικής ρωγμάτωσης, η κατάσταση των τάσεων στον σχηματισμό επηρεάζεται καθ'όλη τη διάρκεια της παραγωγής και μπορεί να χρειαστούν αρκετά χρόνια μετά την εγκατάλειψη για να επιτευχθεί μια νέα ισορροπία (Council of Canadian Academies, 2014).

Σεισμοί μεγαλύτερου μεγέθους πιθανόν να προκύψουν στην περίπτωση που η γεώτρηση διασταυρώνεται και ενεργοποιεί κάποιο υπάρχον ρήγμα. Μια τέτοια περίπτωση επαγόμενης σεισμικότητας αποτελεί η δραστηριότητα της εταιρείας Cuadrilla Resources στον σχιστόλιθο

Bowland. Την 1^η και 27^η Μαΐου του 2011, κατά την εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης στην περιοχή του Blackpool στο Ηνωμένο Βασίλειο, προκλήθηκαν δύο σεισμοί, μεγέθους 2,3 και 1,5 στην κλίμακα Richter, γεγονός που σημαίνει ότι ήταν αισθητοί από τους ανθρώπους, αλλά δεν προκάλεσαν επιφανειακή ζημιά. Μετά τη διερεύνηση των σεισμικών συμβάντων, οι μελέτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι σεισμοί συνδέονταν με τη διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης και η κύρια αιτία ήταν η διοχέτευση του ρευστού σε ένα κοντινό, αλλά μη προσδιορισμένο ρήγμα προέντασης, μειώνοντας την οριακή του τάση, και οδηγώντας στην επανενεργοποίησή του, απελευθερώνοντας την αποθηκευμένη ενέργεια. Οι σεισμοί αυτοί ήταν και η αιτία που η εταιρεία σταμάτησε τη δραστηριότητά της στη συγκεκριμένη περιοχή (The Royal Society, The Royal Academy of Engineering, 2012). Επιπλέον, οι σεισμοί που προκλήθηκαν από τη μέθοδο της υδραυλικής πραγμάτωσης με μέγεθος > 3 στην κλίμακα Richter στη Βρετανική Κολούμπια και τον Καναδά το 2014 σχετίζονταν με άγνωστα υπάρχοντα ρήγματα πριν από τη διάρρηξη (Zhang, 2015).

5.2.5.2. Σεισμικότητα και εισπίεση ρευστών-αποβλήτων (wastewater injection)

Η διαχείριση των ρευστών της υδραυλικής ρωγμάτωσης που επιστρέφουν στην επιφάνεια εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα κατάλληλων γεωτρήσεων εισπίεσης αποβλήτων. Η αυξημένη δραστηριότητα εισπίεσης ρευστών έχει συνδεθεί με σεισμικά γεγονότα, σύμφωνα με το Τμήμα Φυσικών Πόρων (Ohio Department of Natural Resources-ODNR) του Οχάιο, καθώς μεταξύ Μαρτίου 2011 και Μαρτίου 2012, κατέγραψε 12 σεισμικά γεγονότα μικρού μεγέθους που κυμαίνονται από 2,1 έως 4,0 στην κλίμακα Richter (ODNR, 2012). Πρόσθετες μελέτες έχουν δείξει ότι οι δραστηριότητες εισπίεσης αποβλήτων στο Αρκάνσας έχουν συνδεθεί με κοντινούς σεισμούς (Horton, 2012). Σύμφωνα με το ODNR, μία σωστά χωροθετημένη γεώτρηση εισπίεσης δεν θα προκαλέσει σεισμούς. Προκειμένου να προκληθεί σεισμικότητα πρέπει να υπάρχει κάποιο ρήγμα στον υπόγειο σχηματισμό, το οποίο βρίσκεται σε εντατική κατάσταση κοντά στην αστοχία (near-failure state of stress). Η γεώτρηση εισπίεσης πρέπει να έχει μια διαδρομή επικοινωνίας με το ρήγμα και ο ρυθμός ροής του ρευστού στη γεώτρηση πρέπει να είναι σε επαρκή ποσότητα και πίεση για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να προκληθεί κίνηση (βλάβη) κατά μήκος του ρήγματος ή της οικογένειας των ρηγμάτων.

Μια μελέτη του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας (National Research Council – NRC) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η πλειονότητα των γεωτρήσεων εισπίεσης για την απόρριψη

των ρευστών από την υδραυλική ρωγμάτωση δεν αποτελεί κίνδυνο για επαγόμενη σεισμικότητα. Η έκθεση αυτή καταλήγει, επίσης, στο συμπέρασμα ότι η ίδια η διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης δεν δημιουργεί υψηλό κίνδυνο για την πρόκληση αισθητών σεισμικών συμβάντων (NRC, 2012).

5.2.6. Επιπτώσεις στις χρήσεις γης και στο έδαφος (land impacts)

Η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου περιλαμβάνει τις ίδιες κατασκευαστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες με τις αντίστοιχες του συμβατικού φ.α., αλλά με μεγαλύτερη ένταση, διότι: i) τα αποθέματα καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις, ii) η παραγωγή μειώνεται γρήγορα και απαιτεί μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων για να παραμείνει σταθερή η παραγωγή, και iii) οι γεωτρήσεις σχιστολιθικού φ.α. πρέπει να απέχουν περισσότερο μεταξύ τους για την αποτελεσματική διαχείριση του ταμιευτήρα, λόγω της χαμηλής διαπερατότητας του πετρώματος.

Η εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου έχει μεγαλύτερη απαίτηση γης από ό,τι του συμβατικού φ.α., καθώς απαιτεί χώρους για την αποθήκευση του τεχνικού εξοπλισμού, φορτηγά με συμπιεστές, χημικές ουσίες, πρόσθετα διατήρησης ανοικτών ρωγμών, νερό και δεξαμενές υγρών αποβλήτων, εάν το νερό δεν προέρχεται από τοπικές υδρογεωτρήσεις και τα υγρά απόβλητα δεν συγκεντρώνονται σε τεχνητές λίμνες. Οι επιφανειακές εγκαταστάσεις απαιτούν έκταση περίπου 3,6 εκταρίων ανά γεώτρηση (well pad) για την εφαρμογή υδραυλικής ρωγμάτωσης μεγάλης κλίμακας, σε σύγκριση με 1,9 εκτάρια που απαιτούν οι συμβατικές γεωτρήσεις φ.α.

Σύμφωνα με την Καναδική Ένωση Παραγωγών Πετρελαίου (Canadian Association of Petroleum Producers) – (CAPP, 2013a), η πλήρης αποκατάσταση ενός χώρου γεώτρησης σχιστολιθικού αερίου διαρκεί περίπου πέντε χρόνια και περιλαμβάνει το σφράγισμα της γεώτρησης, την απομάκρυνση του εξοπλισμού, τις λοιπές απαραίτητες εργασίες αποκατάστασης και επαναφοράς της βλάστησης. Ενώ, η πλήρης αποκατάσταση της περιοχής ενδέχεται να μην είναι εφικτή σε πολλές περιπτώσεις, ιδίως σε περιοχές με υψηλή αγροτική, πολιτιστική ή φυσική αξία (AEA, 2012).

Η εξέλιξη της τεχνολογίας επέτρεψε την όρυξη πολλών γεωτρήσεων από μια μεμονωμένη θέση γεωτρύπανου (well pad), μειώνοντας έτσι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου, συμπεριλαμβανομένου των απαραίτητων δρόμων προσπέλασης που πρέπει να κατασκευαστούν και του αριθμού των χώρων αποθήκευσης επικίνδυνων χημικών ουσιών. Αν ο σχηματισμός έχει περισσότερες από μία ζώνες

παραγωγής σχιστολιθικού αερίου σε βάθος, μια θέση γεώτρησης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη διάνοιξη μιας δεύτερης σειράς γεωτρήσεων για την εκμετάλλευση ενός δευτερεύοντος στρώματος. Για παράδειγμα, ο σχιστόλιθος Marcellus, στα ανατολικά των Ηνωμένων Πολιτειών, βρίσκεται κάτω από τον σχιστόλιθο Utica. Οι επιφανειακές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται για τον σχιστόλιθο Marcellus θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν στο μέλλον για την εξόρυξη αερίου από τον σχιστόλιθο Utica (Council of Canadian Academies, 2014).

Σημειωτέον, η προσπέλαση σε μια θέση γεώτρησης απαιτεί τη διάνοιξη δρόμων, γεγονός που αυξάνει περαιτέρω τη ανάλωση γης. Στις ΗΠΑ, εκτάσεις γης χρησιμοποιούνται επίσης για δεξαμενές υγρών αποβλήτων, στις οποίες συλλέγεται το νερό επιστροφής, προτού διατεθεί κατάλληλα ή απομακρυνθεί με φορτηγό ή αγωγό. Ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες, μπορεί να χρειαστεί να κατασκευαστούν ή να επεκταθούν και άλλες βοηθητικές υποδομές, συμπεριλαμβανομένων ηλεκτρικών γραμμών και αγωγών φ.α.

Επιπλέον, όταν η ανάπτυξη του σχιστολιθικού φ.α. λαμβάνει χώρα σε δασικές εκτάσεις, η γη πρέπει να καθαριστεί για να διαμορφωθεί κατάλληλα η περιοχή έδρασης του γεωτρύπανου και να κατασκευαστούν οι απαραίτητοι δρόμοι και υποδομές. Ανάλογα με την πυκνότητα των γεωτρήσεων και άλλους παράγοντες, μπορεί να απαιτηθεί μεγάλης κλίμακας κοπή δέντρων, με σημαντικές συνέπειες για την ακεραιότητα του οικοσυστήματος και την άγρια πανίδα (Johnson, 2011). Σύμφωνα με εκτιμήσεις του *Nature Conservancy*, προβλέπεται ότι για την κατασκευή των κατάλληλων υποδομών για την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου στην Πενσυλβάνια έως το 2030 θα πρέπει να κοπούν δέντρα σε επιφάνεια συνολικού εμβαδού μεταξύ 100.000 και 250.000 στρεμμάτων δασών (Johnson, et al., 2010) (Johnson, Gagnolet, & Ralls, Pennsylvania Energy Impacts Assessment. Report 2: Natural Gas Pipelines., 2011) και ότι πάνω από 1.000.000 στρέμματα δασικών οικοτόπων διατρέχουν υψηλό κίνδυνο λόγω της ανάπτυξης του σχηματισμού Marcellus (Evans & Kiesecker, 2014).

Υπάρχουν λίγες μελέτες σχετικά με τις επιπτώσεις της ανάπτυξης μη συμβατικού πετρελαίου και φ.α. στην άγρια ζωή εκτός από ορισμένα είδη πτηνών και μεγάλων θηλαστικών (Northrup & Wittemyer, 2013a). Σύμφωνα με τις μελέτες αυτές, οι επιπτώσεις θα ποικίλλουν ανάλογα με διάφορους παράγοντες (π.χ. χαρακτηριστικά οικοσυστήματος, πυκνότητα δρόμων, έκταση οδικής χρήσης- extent of road use) και μπορεί να περιλαμβάνουν: απώλεια παραγωγικότητας βιομάζας από εκτοπισμένο και συμπιεσμένο έδαφος (loss of biomass productivity from displaced and compacted soil), αυξημένη

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

διάβρωση που οδηγεί στη μεταφορά ιζημάτων και θρεπτικών συστατικών σε ρυάκια και υδροτόπους, μεταβολή υδρολογικού καθεστώτος (π.χ. μεταβαλλόμενη ροή), αυξημένη καθίζηση και απώλεια υδρόβιων οικοτόπων, περιορισμένη διέλευση ιχθύων λόγω οδικής υποδομής (π.χ. γέφυρες) και αυξημένη θνησιμότητα των ψαριών, απώλεια ειδών, οικοτόπων και βλάστησης, κατακερματισμός βιότοπου άγριας ζωής και διατάραξη προτύπων μετανάστευσης, αυξημένη διαταραχή της άγριας ζωής από την ανθρώπινη παρουσία και εκπομπές ρυπαντών, όπως το οδικό άλας (road salt), το πετρέλαιο και η βενζίνη (Daigle, 2010).

Τέλος, υφίσταται κίνδυνος διαρροών πετρελαίου, φ.α. και ρευστών υδραυλικής ρωγμάτωσης στο περιβάλλον. Μία σχετική μελέτη που εκπονήθηκε το 2011 (Adams, 2011) επικεντρώθηκε στην προσομοίωση διαρροής ρευστών υδραυλικής ρωγμάτωσης σε ένα πειραματικό δάσος (experimental forest). Τα αποτελέσματα περιείχαν σοβαρή απειλή θνησιμότητας για τη χλωρίδα, δεδομένου ότι δύο χρόνια μετά την εφαρμογή το 56% των δέντρων ήταν νεκρά. Εκτός από τις διαρροές, οι εργασίες υδραυλικής ρωγμάτωσης απαιτούν τη διαχείριση εξαιρετικά εύφλεκτων χημικών ουσιών. Ως εκ τούτου, ο κίνδυνος εκρήξεων και πυρκαγιών είναι πάντοτε παρών. Επιπροσθέτως, η κλίμακα και η ταχύτητα ανάπτυξης της έχουν αυξήσει τις πιθανότητες ατυχημάτων (Marsters, CastroAlvarez, deLeonBarid, Siegner, & Kammen, 2015).

5.2.7. Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα (biodiversity impacts)

Η παραγωγή μη συμβατικού φ.α. μπορεί να επηρεάσει τη βιοποικιλότητα μιας περιοχής με διάφορους τρόπους. Μπορεί να οδηγήσει στην υποβάθμιση ή πλήρη καταστροφή ενός φυσικού οικοτόπου, λόγω υπερβολικής άντλησης νερού, ή στη διάσπαση ενός οικοτόπου ως αποτέλεσμα της νέας οδοποιΐας που κατασκευάζεται ή της ανέγερσης περιφράξεων ή ακόμα της κατασκευής των εγκαταστάσεων για την έδραση του γεωτρυπάνου. Νέα χωροκατακτητικά είδη όπως φυτά, ζώα ή μικροοργανισμοί ενδέχεται να εμφανιστούν κατά την ανάπτυξη και λειτουργία μιας γεώτρησης σχιστολιθικού αερίου, επηρεάζοντας τόσο τα χερσαία, όσο και τα υδάτινα οικοσυστήματα. Πρόκειται για έναν τομέα που εγείρει εύλογη ανησυχία, αλλά μέχρι στιγμής δεν υπάρχει σαφής βάση ενδείξεων και δεδομένων που να επιτρέπει την αξιολόγηση της σημασίας αυτής της επίπτωσης.

Η όρυξη της γεώτρησης θα μπορούσε ενδεχομένως να επηρεάσει τη βιοποικιλότητα μέσω του θορύβου, των κινήσεων των οχημάτων και των εργασιών στον χώρο. Η επεξεργασία και

η διαχείριση των ρευστών διάτρησης πρέπει, επίσης, να γίνει ώστε να αποφευχθεί η υποβάθμιση ή/και η καταστροφή των φυσικών οικοτόπων.

Οι επιπτώσεις στα φυσικά οικοσυστήματα κατά τη διάρκεια της παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου μπορεί να προκύψουν από την ανθρώπινη δραστηριότητα, την κυκλοφορία των οχημάτων, την κατάληψη γης, την υποβάθμιση και τον κατακερματισμό των οικοτόπων και την εισαγωγή χωροκατακτητικών ειδών. Η κατασκευή δικτύου αγωγών θα μπορούσε να επηρεάσει ευαίσθητα οικοσυστήματα, ενώ η εκ νέου εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης θα μπορούσε να προκαλέσει αθροιστικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα. Η πιθανότητα να μην είναι εφικτή η επιστροφή στην προηγούμενη χρήση γης μετά από το κλείσιμο και την εγκατάλειψη της γεώτρησης μπορεί, επίσης, να επηρεάσει τα τοπικά οικοσυστήματα. Οι κίνδυνοι για τη βιοποικιλότητα κατά τη διάρκεια της παραγωγής θεωρούνται δυνητικά υψηλοί ειδικά για πολλαπλές εγκαταστάσεις (ΑΕΑ, 2012).

5.2.8. Ηχορύπανση (noise pollution)

Η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου έχει επίσης σημαντικό αντίκτυπο στις κοινότητες των γύρω περιοχών, λόγω του θορύβου από την προετοιμασία του χώρου, την κατασκευή της γεώτρησης, την υδραυλική ρωγμάτωση και την κυκλοφορία των οχημάτων. Τα επίπεδα θορύβου διαφέρουν στα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής μιας εγκατάστασης.

Η όρυξη της γεώτρησης και η διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης θεωρούνται ως οι πιο σημαντικές πηγές θορύβου. Η αρχική προετοιμασία του χώρου διαρκεί περίπου 3 με 4 εβδομάδες, αλλά η φάση αυτή δεν διαφέρει από την ανάλογη δραστηριότητα των συμβατικών γεωτρήσεων. Η όρυξη της γεώτρησης διαρκεί 2 με 3 εβδομάδες και σε συνδυασμό με τη συχνή διέλευση οχημάτων προκαλούν σημαντικά ποσοστά θορύβου. Η όρυξη της γεώτρησης πραγματοποιείται συνήθως 24 ώρες την ημέρα, με αποτέλεσμα οι γεωτρήσεις που βρίσκονται κοντά σε κατοικημένες περιοχές να αποτελούν σημαντική πηγή ηχορύπανσης. Βέβαια, λαμβάνονται μέτρα με σκοπό τη μείωση του θορύβου από την 24ωρη λειτουργία του γεωτρήσανου γύρω από τον τόπο της γεώτρησης, όπως για παράδειγμα, η ανέγερση ηχητικού τοίχου ή προστατευτικής κουρτίνας για τη μείωση των επιπέδων θορύβου στις γειτονικές κοινότητες (Brüel&Kjær, 2010). Για παράδειγμα, στον σχιστόλιθο Barnett στις Ηνωμένες Πολιτείες, γύρω από το Διεθνές Αεροδρόμιο DallasFortWorth, οι υπεύθυνοι έχουν κατασκευάσει μόνιμους αγωγούς μεταφοράς της παραγόμενης ποσότητας νερού από τις γεωτρήσεις στις εγκαταστάσεις διάθεσης, μειώνοντας την κυκλοφορία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

οχημάτων, τον συνεπαγόμενο θόρυβο και τις ενδεχόμενες ζημιές στους δρόμους (ALLConsulting, 2009).

Κατά τη φάση της υδραυλικής ρωγμάτωσης απαιτείται βαρύς εξοπλισμός, συμπεριλαμβανομένων εκατοντάδων έως χιλιάδων δρομολογίων φορτηγών για την διακίνηση νερού και χημικών ουσιών και για τη διάθεση του νερού επιστροφής. Οι συνολικές κινήσεις των φορτηγών κατά τη διάρκεια των φάσεων κατασκευής και ανάπτυξης μία γεώτρησης εκτιμώνται μεταξύ 7.000 και 11.000 για μία μόνο θέση γεωτρύπανου (well pad), ενώ κατά τη διάρκεια της υδραυλικής ρωγμάτωσης εκτιμάται ότι απαιτούνται περίπου 250 δρομολόγια φορτηγών ανά ημέρα. Οι επιπτώσεις μπορεί να περιλαμβάνουν την αύξηση της κυκλοφορίας σε δημόσιους δρόμους (επιηρεάζοντας τις κυκλοφοριακές ροές και προκαλώντας συμφόρηση), ζητήματα οδικής ασφάλειας, ζημιές σε δρόμους, γέφυρες και άλλες υποδομές, καθώς και αυξημένο κίνδυνο διαρροών και ατυχημάτων επικίνδυνων υλικών. Ο κίνδυνος θεωρείται μέτριος για μια μεμονωμένη εγκατάσταση και υψηλός για πολλαπλές εγκαταστάσεις (ΑΕΑ, 2012).

Η Διεύθυνση Ορυκτών Πόρων (Division of Mineral Resources), στο Τμήμα Περιβαλλοντικής Διατήρησης του Υπουργείου Εξωτερικών (Environmental Conservation Department), στη Νέα Υόρκη, έχει εκτιμήσει τον όγκο της κυκλοφορίας φορτηγών που συνδέεται με τις διάφορες φάσεις ανάπτυξης και παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου (Πίνακας 5-6).

Πίνακας 5-6: Σκοπός και αριθμός μετακινήσεων φορτηγών (Climate Principles, 2013).

Purpose	Truck trips			
	Per well		Per pad	
	Low	High	Low	High
Drill pad and road construction equipment			10	45
Drilling rig			30	30
Drilling fluid and materials	25	50	150	300
Drilling equipment (casings, drill pipe etc)	25	50	150	300
Completion rig			15	15
Completion fluid and materials	10	20	60	120
Completion equipment (pipe, wellhead)	5	5	30	30
Hydraulic fracture equipment (pump trucks, tanks)			150	200
Hydraulic fracture water	400	600	2400	3600
Hydraulic fracture sand	20	25	120	150
Flow back water removal	200	300	1200	1800

5.2.9. Οπτική ρύπανση (visual impacts)

Ο κίνδυνος σημαντικών οπτικών επιπτώσεων κατά την αναγνώριση και την προετοιμασία της περιοχής των εγκαταστάσεων μιας γεώτρησης σχιστολιθικού αερίου θεωρείται ότι είναι χαμηλός δεδομένου ότι τα νέα χαρακτηριστικά του τοπίου κατά το στάδιο κατασκευής της

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

γεώτρησης είναι προσωρινά και κοινά με πολλά άλλα κατασκευαστικά έργα. Η χρήση μεγάλων γεωτρήσεων θα μπορούσε ενδεχομένως να είναι αντιαισθητική κατά τη διάρκεια της περιόδου κατασκευής, που διαρκεί τέσσερις εβδομάδες, ειδικά σε ευαίσθητες αγροτικές ή κατοικημένες περιοχές υψηλής αξίας. Οι ντόπιοι είναι πιθανό να μην είναι εξοικειωμένοι με το μέγεθος και την κλίμακα των γεωτρήσεων και ο κίνδυνος σημαντικών επιπτώσεων θεωρείται μέτριος σε καταστάσεις όπου αναπτύσσονται πολλαπλές εγκαταστάσεις (well pads) σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Ο κίνδυνος των οπτικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την υδραυλική ρωγμάτωση είναι λιγότερο σημαντικός. Για πολλαπλές εγκαταστάσεις, ο κίνδυνος θεωρείται μέτριος κατά το διάστημα από την προετοιμασία του χώρου μέχρι τη φάση της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Κατά τη φάση μετά το κλείσιμο και την εγκατάλειψη της γεώτρησης, ενδέχεται να μην είναι δυνατή η αφαίρεση όλου του εξοπλισμού της κεφαλής της γεώτρησης από την τοποθεσία. Ωστόσο, αυτό θεωρείται ότι παρουσιάζει χαμηλό κίνδυνο οπτικής ενόχλησης, λόγω της μικρής κλίμακας του εξοπλισμού που παραμένει στον χώρο (ΑΕΑ, 2012).

5.3. Κανονιστικό Πλαίσιο

Η ταχεία επέκταση της ανάπτυξης του σχιστολιθικού φ.α. έχει οδηγήσει σε μια συνεχιζόμενη συζήτηση σχετικά με τον τρόπο εξισορρόπησης των περιβαλλοντικών ανησυχιών με την εμπορική και οικονομική ανάπτυξη. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου έχουν προκαλέσει αυτό τον κοινωνικό σάλο, λόγω του μεγαλύτερου περιβαλλοντικού αποτυπώματος που χαρακτηρίζει τις εργασίες εξόρυξης του συγκρίσει με το συμβατικό φ.α. Αυτές περιλαμβάνουν τις επιπτώσεις στην αλλαγή του κλίματος, την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, τη διαθεσιμότητα ύδατος, την ποιότητα των υδάτων, τη σεισμικότητα και τις τοπικές κοινότητες, όπως παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

Σε πολλές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών και της Δυτικής Ευρώπης παρουσιάζεται ήδη σημαντική αντίσταση στην ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου εξαιτίας των ανησυχιών για το νερό και τις εκπομπές, με ορισμένες χώρες να επιβάλλουν εθνικό μορατόριουμ για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου με χρήση της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η ρύθμιση της εξόρυξης του σχιστολιθικού αερίου είναι ένα εξελισσόμενο ζήτημα, καθώς η βιομηχανία αναπτύχθηκε τόσο γρήγορα που συχνά υπερέβη τη διαθεσιμότητα πληροφοριών για τις ρυθμιστικές αρχές προκειμένου να αναπτύξουν ειδικές κατευθύνσεις.

Στην τρέχουσα ενότητα θα παρουσιαστούν το ισχύον κανονιστικό και νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου σε παγκόσμιο επίπεδο, στοχεύοντας στην διερεύνηση της ύπαρξης κατάλληλης περιβαλλοντικής νομοθεσίας, η οποία καλύπτει όλα τα ζητήματα που αφορούν το μη συμβατικό φ.α. και τέλος αν παρουσιάζει ορισμένα ρυθμιστικά κενά, τα οποία χρήζουν επίλυση.

Οι Χρυσοί Κανόνες (The Golden Rules) από τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA, 2012)

Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (International Energy Agency - IEA), τον Νοέμβριο του 2012, ανέπτυξε ένα σύνολο «Χρυσών Κανόνων» (*Golden Rules for a Golden Age of Gas*) που αποσκοπούν στο ν' ανοίξουν τον δρόμο για τη μαζική ανάπτυξη του μη συμβατικού σχιστολιθικού αερίου, προτείνοντας πολιτικές που μπορούν να εφαρμοστούν από τους φορείς χάραξης πολιτικής, τους ρυθμιστές και τους φορείς εκμετάλλευσης για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων που απορρέουν από τις δραστηριότητες του σχιστολιθικού αερίου.

Οι Χρυσοί Κανόνες ενθαρρύνουν την εμπλοκή των τοπικών κοινωνιών, τη διαρκή παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη διαφάνεια ως μέσο για την απόκτηση της κοινωνικής έγκρισης λειτουργίας. Οι Χρυσοί Κανόνες συστήνουν αποτελεσματικά ρυθμιστικά πλαίσια - καθεστώτα για την ασφαλή ανάπτυξη του μη συμβατικού φ.α. από την άποψη του σχεδιασμού, της ανάπτυξης, τις εκτιμήσεις κινδύνων και την παρακολούθηση των δυνητικών επιπτώσεων και τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων και τη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου. Τα κράτη μέλη της Ε.Ε. μπορούν να εφαρμόσουν αυτούς τους Χρυσούς Κανόνες κατά την ανάπτυξη των δικών τους περιβαλλοντικών πολιτικών για το σχιστολιθικό αέριο, ρυθμίζοντας σε εθνικό επίπεδο τις σχετικές δραστηριότητες.

5.3.1. Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Ως πρωτοπόροι της ανάπτυξης του μη συμβατικού φ.α. σε μεγάλη κλίμακα, οι υπεύθυνοι για τη χάραξη πολιτικής, οι ρυθμιστικές αρχές, οι παραγωγοί και το ευρύ κοινό στις Ηνωμένες Πολιτείες ήταν οι πρώτοι που κλήθηκαν να αντιμετωπίσουν το ερώτημα πώς αξιολογούνται και ελαχιστοποιούνται οι σχετικοί περιβαλλοντικοί κίνδυνοι. Η σχετική συζήτηση διαρκώς διευρυνόταν, ιδίως όσο η παραγωγή μετακινήθηκε από τις μέχρι πρότεινος παραδοσιακές περιοχές παραγωγής πετρελαίου και φ.α. Παράλληλα, οδήγησε στην πραγματοποίηση αλλαγών στο κανονιστικό - ρυθμιστικό πλαίσιο και στις πρακτικές που χρησιμοποιεί η

βιομηχανία, ενώ ακόμα παραμένουν στο τραπέζι αναπάντητα ερωτήματα και αλλαγές που στοχεύουν στη μελλοντική βελτίωση των υπαρχόντων κανονισμών.

Το νομικό και κανονιστικό πλαίσιο για την ανάπτυξη των μη συμβατικών ενεργειακών πόρων στις Ηνωμένες Πολιτείες αποτελείται από ένα σύνολο νόμων και κανονισμών σε ομοσπονδιακό (εθνικό), περιφερειακό (πολιτειακό) και τοπικό επίπεδο

Οι περισσότεροι νόμοι και κανονισμοί ισχύουν γενικά για το πετρέλαιο και το φ.α. και θεσπίστηκαν πριν από την ανάπτυξη των μη συμβατικών υδρογονανθράκων. Καλύπτουν ουσιαστικά όλες τις φάσεις ανάπτυξης μη συμβατικών ενεργειακών πόρων, από την έρευνα μέχρι την αποκατάσταση, 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 τη ρύθμιση και την επιβολή της σχετικής νομοθεσίας σε εδάφη εκτός της ομοσπονδιακής κυριότητας. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει να λαμβάνονται υπόψη ορισμένες ειδικές περιφερειακές συνθήκες, όπως η γεωλογία ή οι διαφορετικές οικονομικές ή περιβαλλοντικές προτεραιότητες. Ωστόσο, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση κατέχει τη γη και τους ορυκτούς πόρους και ρυθμίζει άμεσα τις διαδικασίες εξόρυξης.

5.3.1.1. Ομοσπονδιακοί νόμοι

Η αρμόδια αρχή για τη ρύθμιση της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε *ομοσπονδιακό επίπεδο* στις ΗΠΑ είναι η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA), με τη βοήθεια του Γραφείου Χωροταξίας (Bureau of Land Management-BLM), για την ομοσπονδιακή ιδιοκτησία της γης και η Υπηρεσία Δασών (US Forest Service).

Οι ομοσπονδιακοί νόμοι που θεσπίστηκαν από το Κογκρέσο των ΗΠΑ και ισχύουν για την ανάπτυξη μη συμβατικών πόρων φ.α. αφορούν κυρίως την προστασία του περιβάλλοντος και περιλαμβάνουν:

- i. Τον νόμο περί καθαρού αέρα (**Clean Air Act, 1970**). Ο εν λόγω νόμος προσδιορίζει δραστηριότητες ως πιθανές πηγές εκπομπών αέριων ρύπων, όπως εκπομπές από κινητήρες γεωτρήσεων, εκπομπές από τον εξοπλισμό της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης, διαφεύγουσες εκπομπές αέριων υδρογονανθράκων σε ρευστά επιστροφής (flowback liquids), εκπομπές από τον εξαερισμό (venting) και την καύση (flaring) αερίου κατά τη διάρκεια της επιστροφής, αλλά και εκπομπές από διαχωριστές, συμπιεστές και μονάδες αποθείωσης. Ο Νόμος δημιούργησε ένα Πρότυπο Απόδοσης Νέων Πηγών

(New Source Performance Standard-NSPS, 40 C.F.R. Part 60, Subpart OOOO), το οποίο αποτέλεσε το πρώτο ομοσπονδιακό πρότυπο για την ποιότητα του αέρα που εφαρμόζεται στις γεωτρήσεις υδραυλικής ρωγμάτωσης. Το NSPS τέθηκε σε ισχύ για τη μείωση των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων και διοξειδίου του θείου από τις εργασίες φ.α. και πετρελαίου, συμπεριλαμβανομένων των γεωτρήσεων φ.α., των δεξαμενών αποθήκευσης και άλλων μονάδων επεξεργασίας και ισχύει για όλες τις εγκαταστάσεις που κατασκευάστηκαν μετά τις 23 Αυγούστου 2011, καθώς και για τις εγκαταστάσεις που τροποποιήθηκαν ή ανακατασκευάστηκαν μετέπειτα. Οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις έπρεπε να συμμορφωθούν εντός 60 ημερών από τις 16 Αυγούστου 2012. Από την 1η Ιανουαρίου 2015, οι γεωτρήσεις όπου έχει εφαρμοστεί υδραυλική πραγμάτωση υποχρεώνονται να ελέγχουν τις εκπομπές κατά την επιστροφή των διαφόρων ρευστών (ρευστά διάτρησης, υδραυλικής ρωγμάτωσης, παραγόμενο νερό και νερό επιστροφής) με τη χρήση της *Reduced Emission Completion Technology* (γνωστή και ως «green completion») (Summary of the Clean Air Act).

- ii. Τον νόμο περί καθαρού ύδατος (**Clean Water Act, 1977**). Ο νόμος αυτός θεσπίζει κατευθυντήριες γραμμές για τη χρήση νερού στις δραστηριότητες του πετρελαίου και του φ.α. και για την απόρριψη πετρελαίου σε πλωτές οδούς (Summary of the Clean Water Act).
- iii. Ο νόμος περί ρύπανσης από το πετρέλαιο (**Oil Pollution Act**), ο οποίος τροποποιεί τον νόμο περί καθαρού ύδατος, αφορά στον καθαρισμό και την αποτίμηση ζημιών μεγάλων πετρελαιοκηλίδων σε ύδατα και ακτές. Το Εθνικό Σύστημα Εξάλειψης Εκπομπών Ρύπων (National Pollutant Discharge Elimination System) ρυθμίζει την απόρριψη υγρών αποβλήτων στα ύδατα των ΗΠΑ. Το άρθρο 404, του νόμου περί καθαρού ύδατος, ρυθμίζει την αδειοδότηση για την απόρριψη υλικών πλήρωσης στα ύδατα των ΗΠΑ, η οποία ισχύει για οποιαδήποτε απόρριψη ρύπων σε πλωτά, συμπεριλαμβανομένων υγροτόπων. Οι άδειες εγκρίνονται από το Σώμα Μηχανικών Στρατού των ΗΠΑ (US Army Corps of Engineers). Παραδείγματα υλικών πληρώσεως είναι η άμμος, το εδαφικό υλικό, το σκυρόδεμα κ.λπ. (Summary of the Oil Pollution Act).
- iv. Τον νόμο περί ασφαλούς πόσιμου νερού (**Safe Water Drinking Act**). Ο εν λόγω νόμος απαιτεί από την EPA να θεσπίσει ελάχιστους κανονισμούς για τις γεωτρήσεις εισπίεσης κατηγορίας II, οι οποίες διέπονται από προγράμματα ελέγχου υπόγειας εισπίεσης ρευστών. Οι γεωτρήσεις εισπίεσης κατηγορίας II χρησιμοποιούνται για την επαύξηση της απόληψης πετρελαίου ή για την απόρριψη παραγόμενου νερού και άλμης (brine) σε

υπόγειους σχηματισμούς που βρίσκονται σε βάθη κάτω από τον υδροφόρους ορίζοντες του πόσιμου νερού.

- v. Τον νόμο περί απειλούμενων ειδών (**Endangered Species Act, 781973**). Αυτός ο νόμος παρέχει στην Αμερικανική Υπηρεσία Ιχθύων και Άγριας Φύσης (US Fish and Wildlife Service) την εξουσία να απαγορεύει δραστηριότητες που μπορεί να βλάψουν τα οικοσυστήματα και τα οικοσυστήματα των απειλούμενων και προς εξαφάνιση ειδών (Summary of the Endangered Species Act).
- vi. Τον νόμο περί διατήρησης και ανάκτησης πόρων (**Resource Conservation and Recovery Act – RCRA**). Αποτελεί τον κύριο ομοσπονδιακό νόμο που ρυθμίζει την ασφαλή διαχείριση στερεών και επικίνδυνων αποβλήτων. Παρά το γεγονός ότι τα υγρά και στερεά απόβλητα που παράγονται από την εξερεύνηση και την παραγωγή πετρελαίου και φ.α. μπορούν να περιέχουν σημαντικές ποσότητες ρύπων, τα απόβλητα αυτά εξαιρούνται κατηγορηματικά από τον ορισμό των επικίνδυνων αποβλήτων στο πλαίσιο του RCRA.
- vii. Τον νόμο περί ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής απόκρισης, αποζημίωσης και ευθύνης (**Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act – CERCLA**, συνήθως αναφέρεται και ως «Superfund»). Ο εν λόγω νόμος ρυθμίζει την εκκαθάριση των τοποθεσιών τοξικών αποβλήτων και τις μη επιτρεπόμενες εκλύσεις επικίνδυνων ουσιών. Ο CERCLA αποκλείει ρητά το πετρέλαιο και το φ.α. από τον ορισμό της «επικίνδυνης ουσίας», καθώς και από πολλές άλλες τοξικές ουσίες όπως οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC), οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, το αρσενικό και ο υδράργυρος, όταν απαντώνται φυσικά στο πετρέλαιο ή στο φ.α.. Η απαλλαγή αυτή κερδήθηκε από τη βιομηχανία πετρελαίου και φ.α. σε αντάλλαγμα της δέσμευσής της να καταβάλει το αρχικό χρηματικό κεφάλαιο εκκαθάρισης που δημιουργήθηκε βάσει της πράξης (Super Fund), μία υποχρέωση η οποία έληξε το 1995.
- viii. Ο νόμος περί μελετών έκτακτης ανάγκης και του δικαιώματος του κοινού για πληροφόρηση (**Emergency Planning and Community Right-to-Know Act –EPCRA, 1986**). Καθιερώνει μια διαδικασία πληροφόρησης του κοινού για τους κινδύνους που προκαλούν οι χημικές ουσίες στις κοινότητές τους. Οι καλυπτόμενες βιομηχανίες υποχρεούνται να αναφέρουν τις τοποθεσίες και τις ποσότητες ορισμένων χημικών ουσιών που αποθηκεύονται, απελευθερώνονται ή μεταφέρονται και ορισμένες από αυτές τις πληροφορίες τίθενται στη διάθεση του κοινού μέσω ετήσιας δημοσίευσης ενός

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

καταλόγου απελευθέρωσης τοξικών ουσιών (Toxics Release Inventory-TRI). Στην εφαρμογή του EPCRA από την EPA, οι εγκαταστάσεις έρευνας και παραγωγής πετρελαίου και φ.α. δεν υποχρεούνται να υποβάλλουν έκθεση στο TRI. Ωστόσο, άλλες διατάξεις της EPCRA που διέπουν την κοινοποίηση έκτακτης ανάγκης και τη σχετική υποβολή εκθέσεων περιλαμβάνουν και τις δραστηριότητες πετρελαίου και φ.α.

Σχετικά με τους παραπάνω ομοσπονδιακούς νόμους, έχουν θεσπιστεί ορισμένες εξαιρέσεις. Για παράδειγμα, η υδραυλική ρωγμάτωση εξαιρείται από τον κατάλογο των ρυθμιζόμενων δραστηριοτήτων οι οποίες αφορούν την εισπίεση ρευστών στο υπέδαφος και εγκρίνονται από το νόμο περί ασφαλούς πόσιμου νερού (εκτός εάν χρησιμοποιούνται ρευστά υδραυλικής ρωγμάτωσης με βάση το ντίζελ). Οι ομοσπονδιακοί νόμοι που σχετίζονται με την προστασία των κοινοτήτων και την επαγγελματική υγεία και ασφάλεια απαιτούν από τους φορείς εκμετάλλευσης να ενημερώνουν σχετικά με επικίνδυνες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες όρυξης της γεώτρησης, συμπεριλαμβανομένων των ρευστών υδραυλικής ρωγμάτωσης, τόσο τους εργαζόμενους όσο και τις αρμόδιες υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης.

Η ασφάλεια του πόσιμου νερού ρυθμίζεται σε ομοσπονδιακό επίπεδο βάσει του Νόμου περί Ασφαλούς Πόσιμου Νερού (SDWA), 1974, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Ωστόσο, η βιομηχανία πετρελαίου και φ.α. (ιδίως ο τομέας των σχιστολιθικών υδρογονανθράκων) απαλλάσσεται σήμερα από την EPA. Ο νόμος τροποποιήθηκε δύο φορές, μία φορά το 1986 και δεύτερη φορά το 1996, για να παρέχει σε γενικές γραμμές προστασία για όλους τους δημόσιους υδάτινους πόρους από επιβλαβείς ρυπαντές. Αυτή η απαλλαγή είναι αποτέλεσμα της θέσπισης του Ενεργειακού Νόμου του 2005 (**Energy Policy Act**), ο οποίος υπογράφηκε επί προεδρίας του George W. Bush και ο οποίος απέκλειε ρητά την εισπίεση φ.α. για λόγους υπόγειας αποθήκευσης, αλλά και τη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης από τον Νόμο περί Ασφαλούς Πόσιμου Ύδατος – SDWA. Ο νόμος είναι γνωστός ως το «παραθυράκι της Halliburton – Halliburton Loophole», λόγω της τεραστίας πίεσης που ασκήθηκε από τον πρώην αντιπρόεδρο Dick Cheney της εταιρείας Halliburton, η οποία κατείχε μεγάλα οικονομικά συμφέροντα στην τεχνολογία της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η εταιρεία Halliburton άσκησε πίεση στην εξαίρεση, ενώ ο Cheney συνέβαλε στη δημιουργία του ενεργειακού σχεδίου. Η εταιρεία, σημειωτέον, είναι ένας από τους κύριους παραγωγούς χημικών ρευστών που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης (Earthworks) (Debra & Tracle, 2016).

Μετά τον Ενεργειακό Νόμο του 2005, προτάθηκαν στο Κογκρέσο δύο νομοσχέδια για την παύση της εξαίρεσης της υδραυλικής ρωγμάτωσης στον Νόμο περί Ασφαλούς Πόσιμου Νερού. Το πρώτο ήταν το 2008 στη Βουλή των Αντιπροσώπων (House of Representatives). Το δεύτερο νομοσχέδιο, Fracturing Responsibility and Awareness of Chemicals (FRAC) Act, προτάθηκε το 2009 με σκοπό να εποπτεύει και να ρυθμίζει τους τύπους χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στα ρευστά της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Σημειωτέον, απαιτούσε από τις εταιρείες παραγωγής να αποκαλύψουν τις διάφορες χημικές ουσίες που περιλαμβάνουν τα ρευστά υδραυλικής ρωγμάτωσης, οι οποίες αρνούνταν κατηγορηματικά. Κανένα από τα δύο νομοσχέδια δεν πέρασε από το Κογκρέσο. Εν τέλει, τον Απρίλιο του 2011 η Επιτροπή Ενέργειας και Εμπορίου της Βουλή των Αντιπροσώπων (House of Representatives Committee on Energy and Commerce), ξεκίνησε μία έρευνα για την μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης, η οποία οδήγησε στην αποκάλυψη, από τις 14 μεγαλύτερες εταιρείες πετρελαίου και φ.α., της χημικής σύνθεσης των ρευστών της υδραυλικής ρωγμάτωσης μεταξύ της περιόδου 2005-2009 (Waxman, Markey, & DeGette, 2011).

5.3.1.2. Πολιτειακοί νόμοι

Σε επίπεδο *πολιτείας*, οι νόμοι που ισχύουν και αφορούν τους μη συμβατικούς ενεργειακούς πόρους είναι οι πολιτειακοί νόμοι περί πετρελαίου και φ.α. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι εν λόγω νόμοι ενημερώνονται/εκσυγχρονίζονται ώστε να ανταποκρίνονται στις ανησυχίες του κοινού σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ανάπτυξης του μη συμβατικού φ.α. Τυπικές αλλαγές περιλαμβάνουν κανόνες για την αποκάλυψη πληροφοριών σχετικά με τα ρευστά που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ρωγμάτωση, πρόσθετα μέτρα για την εξασφάλιση επαρκούς ακεραιότητας στη σωλήνωση και την τσιμεντόνωση της γεώτρησης και κανόνες σχετικά με την επεξεργασία και τη διάθεση των αποβλήτων. Εντούτοις, σε πολλές πολιτείες παραμένουν ρυθμιστικά κενά, κυρίως λόγω της περιορισμένης εμπειρίας στην ανάπτυξη πετρελαίου και φ.α. (IEA, 2012).

Η πρώτη πολιτεία που απαγόρευσε την υδραυλική ρωγμάτωση είναι η πολιτεία του Vermont το 2012, ακολούθως το 2014 η Νέα Υόρκη απαγόρευσε την μέθοδο μετά από 6 έτη έρευνας και μελέτης, ενώ ένα μορατόριουμ είχε τεθεί σε ισχύ από το 2010. Τέλος, η πολιτεία του Μέριλαντ, τον Μάιο του 2015, ενέκρινε ένα μορατόριουμ διάρκειας 2,5 ετών για την υδραυλική ρωγμάτωση (Debra&Tracle, 2016).

Οι προσπάθειες για την ενίσχυση του κανονιστικού πλαισίου των Η.Π.Α. αποτελούν δημόσια προτεραιότητα, προκειμένου να διασφαλιστεί η υπεύθυνη ανάπτυξη των μη

συμβατικών ενεργειακών πόρων και να αντιμετωπιστεί η αυξανόμενη δημόσια ανησυχία και πίεση. Μεταξύ των πολλών δημόσιων φορέων που ασχολούνται με τις περιβαλλοντικές πτυχές της ανάπτυξης του μη συμβατικού αερίου, δύο εργάζονται ειδικά για τη βελτίωση της ποιότητας της κανονιστικής πολιτικής: το Συμβούλιο Προστασίας των Υπόγειων Υδάτων (Ground Water Protection Council) και η Επιτροπή Αναθεώρησης των Περιβαλλοντικών Κανονισμών Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου (State Review of Oil and Natural Gas Environmental Regulations - STRONGER). Οι προαναφερόμενοι φορείς συμβουλεύουν τις πολιτείες σε ρυθμιστικά θέματα που σχετίζονται με το μη συμβατικό αέριο.

5.3.1.3. Κανονισμοί

Ο ίδιος ο κλάδος της βιομηχανίας έχει λάβει μέτρα για την προώθηση βέλτιστων πρακτικών, τόσο μέσω βιομηχανικών φορέων, όπως το Αμερικανικό Ινστιτούτο Πετρελαίου (American Petroleum Institute), όσο και μέσω πρωτοβουλιών όπως η δημιουργία του ιστοτόπου FracFocus, ενός εθελοντικού ηλεκτρονικού μητρώου (voluntary online registry) στο οποίο οι εταιρείες υποβάλλουν στοιχεία σχετικά με τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στις εργασίες υδραυλικής ρωγμάτωσης (API, 2011). Η ιστοσελίδα αυτή ιδρύθηκε από το Συμβούλιο Προστασίας Υπόγειων Υδάτων (Ground Water Protection Council) και την Διαπολιτειακή Επιτροπή Πετρελαίου και Αερίου (Interstate Oil and Gas Compact Commission), με σκοπό την προώθηση της διαφάνειας στις διαδικασίες της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Σύμφωνα με το Συμβούλιο Προστασίας Υπόγειων Υδάτων, από τον Φεβρουάριο του 2015, 27 πολιτείες είχαν υιοθετήσει απαιτήσεις πληροφόρησης περί χημικών ουσιών (με διάφορες εμπορικές μυστικές προστασίες) και τουλάχιστον 18 από αυτές τις πολιτείες απαιτούσαν δημόσια υποβολή των στοιχείων στο FracFocus.

Η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (United States Environmental Protection Agency) έχει εκδώσει ομοσπονδιακούς κανονισμούς βάσει του Νόμου για τον καθαρό αέρα (Clean Air Act) που αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων από όλες τις δραστηριότητες της βιομηχανίας πετρελαίου και φ.α., καθώς και των εκπομπών μεθανίου. Οι κανονισμοί ισχύουν για τις γεωτρήσεις που έχει εφαρμοστεί υδραυλική ρωγμάτωση και επί του πρακτέου επιβάλλουν τη χρήση των τεχνολογιών «πράσινης ολοκλήρωσης (green completion)», όπως ορίζεται ήδη στις πολιτείες του Colorado και του Wyoming.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

Το Γραφείο Χωροταξίας (Bureau of Land Management), το οποίο είναι υπεύθυνο για τη ρύθμιση των περισσότερων δραστηριοτήτων εκμετάλλευσης ενεργειακών πόρων σε ομοσπονδιακό έδαφος, πρότεινε νέους κανόνες που θα απαιτούσαν από τις εταιρείες να αποκαλύψουν τη σύνθεση των ρευστών υδραυλικής ρωγμάτωσης, να αναζητήσουν πρόσθετες άδειες και να διεξάγουν αυστηρές δοκιμές για τον έλεγχο ακεραιότητας της γεώτρησης. Αυτές οι πρωτοβουλίες προκάλεσαν έντονες συζητήσεις μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών σχετικά με το εάν θα έπρεπε να ρυθμιστεί η υδραυλική ρωγμάτωση τόσο σε πολιτειακό όσο και σε ομοσπονδιακό επίπεδο και κατά πόσο απαιτούνται εναρμονισμένοι κανονισμοί για τα ομοσπονδιακά εδάφη.

Στα τέλη του 2011, η Shale Gas Subcommittee of the Secretary of Energy Advisory Board εξέδωσε ένα σύνολο είκοσι συστάσεων για βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες ενέργειες από ομοσπονδιακές και πολιτειακές υπηρεσίες για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη βελτίωση της ασφάλειας στην παραγωγή σχιστολιθικού αερίου (USDOE, 2011). Μία σημαντική μελέτη του Εθνικού Συμβουλίου Πετρελαίου (National Petroleum Council) για το μέλλον των πόρων πετρελαίου και φ.α. στις Η.Π.Α. τόνισε επίσης την ανάγκη για «συνετή ανάπτυξη» και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα οφέλη από την αξιοποίηση των πόρων πετρελαίου και φ.α. της χώρας είναι αποδεκτά με την προϋπόθεση ότι η ανάπτυξη και η διανομή τους θα γίνεται με ασφαλή και περιβαλλοντικά αποδεκτό τρόπο σε όλες τις περιστάσεις (NPC, 2011).

Στις 26 Μαρτίου 2015, το Γραφείο Χωροταξίας (Bureau of Land Management – BLM), εξέδωσε τελικό κανονισμό, με ισχύ την 24η Ιουνίου 2015, σχετικά με την υδραυλική ρωγμάτωση στις ομοσπονδιακές και τις ινδικές χώρες, αντιδρώντας στην αύξηση των εγχώριων δραστηριοτήτων της υδραυλικής ρωγμάτωσης και στους πιθανούς κινδύνους που θέτει για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Ο εν λόγω κανονισμός απαιτεί από τους φορείς εκμετάλλευσης να γνωστοποιούν πληροφορίες για κάθε πρόσθετη χημική ουσία που χρησιμοποιείται στα ρευστά υδραυλικής ρωγμάτωσης (χημικά και πρόσθετα) εξαιρώντας μόνο αυτές που εμπίπτουν στη κατηγορία του εμπορικού απορρήτου. Οι εταιρείες πρέπει να παρέχουν αυτές τις πληροφορίες στην BLM, τοποθετώντας την στον ιστότοπο του FracFocus εντός 30 ημερών από την ολοκλήρωση των εργασιών της ρωγμάτωσης. Οι στόχοι του BLM ήταν «η διασφάλιση της κατάλληλης κατασκευής των γεωτρήσεων για την προστασία των υδάτων, ώστε να εξασφαλίζεται ότι τα ρευστά που ρέουν στην επιφάνεια ως αποτέλεσμα των εργασιών υδραυλικής ρωγμάτωσης διαχειρίζονται με περιβαλλοντικά υπεύθυνο τρόπο» (Krasnerman, 2017).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

5.3.1.4. Τοπικές κυβερνήσεις

Αν και η διαδικασία ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου ρυθμίζεται συχνά σε πολιτειακό και ομοσπονδιακό επίπεδο, η μεγαλύτερη ανάπτυξη (όχι σε ομοσπονδιακές εκτάσεις) συμβαίνει εντός της δικαιοδοσίας μιας τοπικής κυβέρνησης. Σε *τοπικό επίπεδο*, οι εξουσίες των τοπικών κυβερνήσεων αναφορικά με τη ρύθμιση των επιχειρήσεων πετρελαίου και φ.α. ποικίλλουν σημαντικά από πολιτεία σε πολιτεία.

Γενικά, οι τοπικές κυβερνήσεις έχουν τον έλεγχο των θεμάτων που σχετίζονται με τις χρήσεις γης και τη διαμόρφωση των ζωνών προστασίας και που αφορούν την υγεία, την ασφάλεια και την ευημερία των κοινοτήτων τους. Οι τοπικές κυβερνήσεις μπορούν να επιτρέπουν την υπό όρους χρήση γης (καθορίζοντας τις συνθήκες υπό τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια περιοχή για πετρελαϊκές δραστηριότητες) και τον αποκλεισμό δραστηριοτήτων εντός των ζωνών προστασίας (απαγόρευση δραστηριοτήτων πετρελαίου και φ.α. σε ορισμένες περιοχές).

Οι εξουσίες των τοπικών κυβερνήσεων μπορούν να επεκτείνονται σε ένα ευρύ φάσμα τοπικών κανονισμών, συμπεριλαμβανομένης της αυστηρής απαγόρευσης όρυξης γεώτρησης. Πολιτείες όπως το Τέξας και η Οκλαχόμα, με τη μακρά ιστορία τους και την ευρεία υποστήριξη που παρέχουν στην ανάπτυξη πετρελαίου και φ.α., έχουν αναθέσει στις τοπικές κυβερνήσεις τη ρύθμιση αυτών των δραστηριοτήτων μέσα στο παραδοσιακό πεδίο εξουσίας τους. Ωστόσο, άλλες πολιτείες έχουν υιοθετήσει πλήρως την ομοσπονδιακή νομοθεσία για τον τομέα του πετρελαίου και του φ.α. και οι τοπικές κυβερνήσεις αποτρέπονται από τη ρύθμιση της σχετικής βιομηχανίας (Norton Rose Fullbright, 2015).

Η σύγκρουση μεταξύ τοπικής και πολιτειακής ρύθμισης για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου συχνά περιστρέφεται γύρω από ζητήματα αφηρημένης νομικής ερμηνείας. Ωστόσο, συχνά διακυβεύεται το κατά πόσο οι τοπικές κυβερνήσεις επιτρέπεται να δίνουν πληροφορίες σχετικά με το πού και πώς συμβαίνει αυτή η ανάπτυξη στις κοινότητές τους ή αν οι αποφάσεις αυτές ανήκουν εξ ολοκλήρου σε κρατικούς αξιωματούχους (Finkel, 2015).

5.3.2. Καναδάς

Το μη συμβατικό φ.α. στον Καναδά υπόκειται σε ένα σύνολο ομοσπονδιακών, επαρχιακών και τοπικών νόμων και κανονισμών που διέπουν τις upstream δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

περισσότεροι κανονισμοί για το πετρέλαιο και το φ.α. είναι επαρχιακοί, καθώς οι πόροι ανήκουν στις επαρχίες (με εξαίρεση εκείνες που βρίσκονται σε αυτόχθονες περιοχές). Το Εθνικό Συμβούλιο Ενέργειας (**National Energy Board**) είναι ο ρυθμιστικός φορέας σε επίπεδο ομοσπονδιακού κράτους για τα διεθνή και διαπεριφερειακά ενεργειακά ζητήματα, ενώ έχει ρυθμιστικές αρμοδιότητες για τις δραστηριότητες έρευνας και παραγωγής πετρελαίου και φ.α. σε συγκεκριμένους τομείς που δεν ρυθμίζονται από κοινές ομοσπονδιακές / επαρχιακές συμφωνίες. Οι ρυθμιστικές αρμοδιότητες υπάγονται στον Νόμο περί Δραστηριοτήτων Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου (**Canada Oil and Gas Operations Act**) και ορισμένες διατάξεις του Πετρελαϊκού Νόμου (**Canada Petroleum Resources Act**). Ο Οργανισμός Περιβάλλοντος του Καναδά (Environment Canada) είναι ο ομοσπονδιακός φορέας που είναι αρμόδιος για την προστασία του περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένης της διοίκησης και της επιβολής των ομοσπονδιακών νόμων.

Σε ομοσπονδιακό επίπεδο, ο Καναδικός Νόμος περί Προστασίας του Περιβάλλοντος του 1999 (**Canadian Environmental Protection Act - CEPA**) ρυθμίζει την εισαγωγή, εμπορία, χρήση και διάθεση τοξικών ουσιών στο καναδικό εμπόριο, ενώ περιλαμβάνει ευρείες εκτελεστικές εξουσίες (enforcement powers). Οι κανονισμοί στο πλαίσιο του CEPA διέπουν, μεταξύ άλλων, την εισαγωγή και την παραγωγή νέων ουσιών στον Καναδά, καθώς και την εισαγωγή και εξαγωγή επικίνδυνων αποβλήτων. Ως εκ τούτου, ο εν λόγω νόμος χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ρωγμάτωση και την εξαγωγή αποβλήτων πετρελαίου από τον Καναδά.

Ο ομοσπονδιακός Νόμος περί Αλιείας (**Fisheries Act**) απαγορεύει, μεταξύ άλλων, τη διάθεση μιας επιβλαβούς ουσίας σε οποιαδήποτε υδάτινη μάζα όπου μπορεί να υπάρχουν ψάρια και επίσης την επιβλαβή αλλοίωση, διαταραχή ή καταστροφή του ιχθυοτόπου. Ως εκ τούτου, τα ρευστά διάτρησης και παραγωγής που χρησιμοποιούνται στις γεωτρήσεις σχιστολιθικού αερίου δεν μπορούν να απορρίπτονται στα ύδατα αλιείας και οι δρόμοι, οι σεισμικές γραμμές και οι αγωγοί πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε να αποφεύγεται η βλάβη σε βιότοπους ιχθύων. Μία ομοσπονδιακή περιβαλλοντική νομοθεσία για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου περιλαμβάνει τον Νόμο περί Προστασίας της Ναυσιπλοΐας (**Navigation Protection Act**), τον Νόμο περί Επικίνδυνων Προϊόντων (**Hazardous Products Act**), τον Νόμο περί Σύμβασης για τα Μεταναστευτικά Πτηνά (**Migratory Birds Convention Act**), τον Νόμο περί Ειδών σε Κίνδυνο (**Species at Risk Act**) και τον Νόμο περί Μεταφοράς Επικίνδυνων Εμπορευμάτων (**Transportation of Dangerous Goods Act**).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Ορισμένα έργα μεγάλης κλίμακας πρέπει επίσης να πληρούν τις απαιτήσεις του Καναδικού Νόμου περί Περιβαλλοντικής Εκτίμησης του 2012 (**Canadian Environmental Assessment Act - CEAA**). Ο Νόμος εφαρμόζεται σε έργα που απαριθμούνται σε κανονισμό, ο οποίος για τα έργα πετρελαίου και φ.α. περιλαμβάνει έργα που προτείνονται σε καταφύγια άγριων ζώων και πτηνών, έργα με σταθμούς παραγωγής ισχύος 200 MW ή περισσότερο, ορισμένα μεγάλα έργα που αφορούν έργα αερίου και LNG. Στην περίπτωση εφαρμογής του νόμου CEAA, απαγορεύεται στους υποστηρικτές τέτοιων έργων να ενεργούν κατά τρόπο που να μπορεί να έχει περιβαλλοντικό αντίκτυπο σε σχέση με το έργο τους. Αυτό ισχύει μέχρι ο Καναδικός Οργανισμός Περιβαλλοντικής Εκτίμησης (**Canadian Environmental Assessment Agency**), αφού προβεί σε περιβαλλοντικό έλεγχο του έργου, αποφανθεί ότι δεν απαιτείται περιβαλλοντική εκτίμηση ή, αφού εξετάσει την περιβαλλοντική μελέτη, αποφανθεί ότι το έργο συμμορφώνεται με τους όρους που καθορίζονται από την απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος ότι το έργο δεν είναι πιθανό να προκαλέσει σημαντικές δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις ή το ομοσπονδιακό υπουργικό συμβούλιο (Federal Cabinet) αποφασίσει ότι δικαιολογούνται τυχόν δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Norton Rose Fullbright, 2015).

Σε επαρχιακό επίπεδο, η εικόνα του ρυθμιστικού πλαισίου στον Καναδά ποικίλλει, αλλά ως απάντηση στις δημόσιες πιέσεις και στο αυξημένο εμπορικό ενδιαφέρον για τις ευκαιρίες ανάπτυξης του καναδικού σχιστολιθικού αερίου, οι ρυθμιστικές αρχές σε όλη τη χώρα δίνουν όλο και μεγαλύτερη προσοχή στους ενδεχόμενους κινδύνους ρύπανσης από την εφαρμογή της μεθόδου της υδραυλικής ρωγμάτωσης και τη διάθεση αποβλήτων από τις μη συμβατικές γεωτρήσεις. Ενώ κάθε επαρχία έχει τους δικούς της ιδιαίτερους κανονισμούς, όλες έχουν νόμους για την προστασία των υδροφόρων οριζόντων πόσιμου νερού και την εξασφάλιση υπεύθυνης ανάπτυξης.

Στον δυτικό Καναδά, οι παραγωγοί φ.α. υποχρεούνται, με κανονισμό, να επαναδιοχετεύουν το παραγόμενο νερό (produced water) σε βαθιές αλατούχες ζώνες που βρίσκονται πολύ κάτω από τη βάση των υπόγειων υδροφορέων, χρησιμοποιώντας γεωτρήσεις διάθεσης ύδατος. Σε άλλες περιοχές, όπου δεν υπάρχουν οι παραπάνω γεωτρήσεις διάθεσης, οι επαρχιακοί κανονισμοί ορίζουν απαιτήσεις για την επεξεργασία και τη διάθεση του παραγόμενου νερού.

Οι εγκρίσεις για τη χρήση νερού απαιτούνται από την αρμόδια ρυθμιστική αρχή ή κυβερνητική υπηρεσία. Οι ρυθμιστικές αρχές και οι κυβερνήσεις διαθέτουν μια ευρεία επιλογή μηχανισμών ελέγχου για τη διαχείριση της χρήσης του νερού και τον μετριασμό των

πιθανών επιπτώσεων, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας περιορισμού του ρυθμού χρήσης νερού από οποιαδήποτε πηγή και τον καθορισμό των συνολικών ορίων χρήσης ύδατος. Υπάρχουν επίσης κανονισμοί που στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των εργασιών όρυξης της γεώτρησης και παραγωγής, όπως, για παράδειγμα η απαίτηση κατασκευής (centralised) drilling pads και αποκατάστασης της περιοχής μετά το πέρας της παραγωγής και του σφραγίσματος της γεώτρησης.

Λόγω της μακράς ιστορίας της ανάπτυξης πετρελαίου και φ.α., η Βρετανική Κολομβία και η Αλμπέρτα έχουν την μεγαλύτερη εμπειρία σε ρυθμιστικά πλαίσια που διέπουν τις δραστηριότητες πετρελαίου και φ.α. στον Καναδά. Στη Βρετανική Κολομβία, δημιουργήθηκε ένα ενιαίο ρυθμιστικό όργανο, η Επιτροπή Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου (**Oil and Gas Commission - BCOGC**) για να επιβλέπει τις δραστηριότητες πετρελαίου και φ.α. Το BCOGC εξουσιοδοτείται να εφαρμόζει ορισμένες διατάξεις της νομοθεσίας που διαφορετικά θα κατανέμονταν σε πολλαπλά κυβερνητικά τμήματα και οργανισμούς. Σε αυτές περιλαμβάνονται ο νόμος περί Περιβαλλοντικής Διαχείρισης, ο νόμος περί Δασών, ο νόμος περί Προστασίας της Κληρονομιάς, ο νόμος περί Γης και ο νόμος περί Υδάτων (**Environmental Management Act, Forest Act, Heritage Conservation Act, Land Act and the Water Act**). Έτσι, ένας διαχειριστής της υδραυλικής ρωγμάτωσης πρέπει να υποβάλει αίτηση για άδεια όρυξης γεώτρησης και άδειες χρήσης νερού μέσω του BCOGC, αντί μέσω άλλων φορέων. Οι περισσότεροι από τους κανονισμούς του BCOGC ισχύουν για όλες τις δραστηριότητες πετρελαίου και φ.α. και δεν είναι ειδικά προσαρμοσμένοι για την υδραυλική ρωγμάτωση.

Η ρύθμιση των δραστηριοτήτων πετρελαίου και φ.α. στην Αλμπέρτα υπάγεται στο Συμβούλιο Διατήρησης Ενεργειακών Πόρων (**Energy Resources Conservation Board**), την Alberta Health και το Alberta Environment and Sustainable Development. Το 2013, η Αλμπέρτα συνέδεσε τα ρυθμιστικά καθήκοντα αυτών των διοικητικών συμβουλίων και υπηρεσιών σε έναν ενιαίο ρυθμιστικό φορέα, το **Alberta Energy Regulator (AER)**, υπό την αιγίδα του Υπουργείου Ενέργειας της Αλμπέρτα, το οποίο είναι τώρα αρμόδιο για όλες τις πτυχές των δραστηριοτήτων πετρελαίου και φ.α. Ο φορέας AER ρυθμίζει τα περιβαλλοντικά ζητήματα, τις βαθιές γεωτρήσεις εισπίεσης κατηγορίας II και έχει επίσης την εξουσία να θεσπίζει νέους κανονισμούς και κατευθυντήριες γραμμές όσον αφορά την όρυξη γεώτρησης υδραυλικής ρωγμάτωσης, την ολοκλήρωση αυτής, την παραγωγή και το κλείσιμο και την εγκατάλειψη της εγκατάστασης (MacIntosh, 2014).

Πέντε από τις επαρχίες του Καναδά και μία επικράτεια είναι συνδεδεμένα μέλη της Διεθνούς Επιτροπής Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου των Ηνωμένων Πολιτειών (United States Interstate Oil and Gas Compact Commission).

Τα Πρώτα Έθνη (First Nations) έχουν ειδικά νομικά δικαιώματα στον Καναδά. Το 1982, τα υφιστάμενα δικαιώματα των αυτοχθόνων αναγνωρίστηκαν και επιβεβαιώθηκαν στο άρθρο 35 (1) του Συντάγματος (Constitution Act) του 1982. Τα δικαστήρια συνεχίζουν να αποσαφηνίζουν τη φύση των υφιστάμενων δικαιωμάτων των αυτοχθόνων και, ως εκ τούτου, καθορίζουν τις νομικές σχέσεις μεταξύ της ομοσπονδιακής κυβέρνησης, των επαρχιών και των πρώτων εθνών. Οι κυβερνήσεις υποχρεούνται νομικά να διαβουλεύονται με τα Πρώτα Έθνη και να επιδιώκουν να αντιμετωπίσουν τις ανησυχίες τους πριν επηρεάσουν τα διεκδικούμενα ή αποδεδειγμένα δικαιώματα των ιθαγενών (Norton Rose Fullbright, 2015).

Τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στις εκτάσεις των Πρώτων Εθνών ρυθμίζονται από τον οργανισμό **Indian Oil and Gas Canada (IOGC)**, έναν ειδικό οργανισμό που αποτελεί τμήμα του φορέα Indigenous and Northern Affairs Canada- INAC. Ο φορέας IOGC λειτουργεί σύμφωνα με τον Νόμο των Αυτοχθόνων περί Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου (**Indian Oil and Gas Act**) και τους κανονισμούς των Αυτοχθόνων περί Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου (**Indian Oil and Gas Regulations, 1995**), καθώς και με άλλες σχετικές νομοθετικές πράξεις και κατευθυντήριες οδηγίες (Regulation of Shale and Tight Resources, 2016).

5.3.3. Κίνα

Τα τεράστια δυνητικά αποθέματα σχιστολιθικού φ.α. της Κίνας και η ισχυρή πολιτική δέσμευση για την αξιοποίησή τους υποδηλώνουν ότι οι πόροι αυτοί θα συνεισφέρουν ολοένα και περισσότερο στο φ.α. που παράγεται στην Κίνα σε μακροπρόθεσμη βάση. Λόγω του εξαιρετικά συγκεντρωτικού ρυθμιστικού πλαισίου και του πλαισίου χάραξης πολιτικής της Κίνας, καθώς και της υψηλής προτεραιότητας που δίδεται στη βιομηχανική και οικονομική ανάπτυξη, τα έργα μη συμβατικού αερίου ενδέχεται να αντιμετωπίσουν λιγότερα εμπόδια από τις περιβαλλοντικές ανησυχίες σε σχέση με την Ευρώπη ή τις Η.Π.Α. Ωστόσο, το κανονιστικό πλαίσιο βρίσκεται ακόμα εν εξελίξει και ο τρόπος διαμόρφωσής του μπορεί να επηρεάσει τον ρυθμό ανάπτυξης με διάφορους τρόπους, όπως είναι οι όροι πρόσβασης, ο ρυθμός διάδοσης της προηγμένης τεχνολογίας, τα οικονομικά κίνητρα, το καθεστώς τιμολόγησης, οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί και η ανάπτυξη των υποδομών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

Στην Κίνα οι αποφάσεις στρατηγικής σημασίας σχετικά με τη διαχείριση των φυσικών πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος λαμβάνονται σε εθνικό επίπεδο, ενώ οι αρμοδιότητες εφαρμογής και επιβολής τους συχνά ανατίθενται στις τοπικές αρχές. Πολλές προβλέψεις του νομικού και ρυθμιστικού πλαισίου της Κίνας όσον αφορά την ανάπτυξη του πετρελαίου και του φ.α. έχουν γενικό χαρακτήρα, δίνοντας στους τοπικούς ρυθμιστικούς φορείς τη δυνατότητα να εξειδικεύσουν τις αποφάσεις τους στα τοπικά έργα (αν και αυτό μπορεί να οδηγήσει και σε απρόβλεπτα αποτελέσματα). Προβλήματα μπορούν να προκύψουν από τον κατακερματισμό (fragmentation) και την επικάλυψη (overlap) των αρμοδιοτήτων μεταξύ των διαφόρων ρυθμιστικών φορέων, την αβεβαιότητα για τον αποτελεσματικό συντονισμό μεταξύ τους και την ενδεχόμενη ασυνεπή εφαρμογή των κανονισμών (IEA, 2012).

Ο τομέας του σχιστολιθικού αερίου στην Κίνα ρυθμίζεται από τέσσερις κυβερνητικές αρχές, την Εθνική Υπηρεσία Ενέργειας (**National Energy Administration - NEA**), το Υπουργείο Χωροταξίας (**Ministry of Land Resources – MLR**), την Εθνική Επιτροπή Ανάπτυξης και Μεταρρυθμίσεων (**National Development and Reform Commission -NDRC**) και το Υπουργείο Οικονομικών (**Ministry of Finance - MOF**).

Η *Εθνική Υπηρεσία Ενέργειας* (NEA) είναι υπεύθυνη κυρίως για την υψηλού επιπέδου εποπτεία του ενεργειακού τομέα συνολικά. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη σχεδίων και προτύπων για την έρευνα του μη συμβατικού φ.α. και τη θέσπιση βιομηχανικών πολιτικών και κινήτρων για την ενθάρρυνση της ανάπτυξης της σχετικής βιομηχανίας. Την 31η Ιουλίου 2013, η NEA ενέκρινε την ίδρυση της *Επιτροπής Προτύπων Βιομηχανίας Σχιστολιθικού Αερίου* (*Shale Gas Industry Standard Commission*). Η Επιτροπή είναι επιφορτισμένη με την καθιέρωση τεχνικών προτύπων και κατευθυντήριων οδηγιών για την έρευνα και εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου.

Το *Υπουργείο Χωροταξίας* (MLR) είναι υπεύθυνο για τη γενική διοίκηση της μεταλλευτικής δραστηριότητας, στην οποία συμπεριλαμβάνεται και η οργάνωση της έρευνας και του σχεδιασμού δυναμικών μπλοκ παραγωγής σχιστολιθικού αερίου, τη διεξαγωγή διαδικασιών υποβολής προσφορών και την καταγραφή και έκδοση αδειών εκμετάλλευσης.

Η *Εθνική Επιτροπή Ανάπτυξης και Μεταρρυθμίσεων* (NDRC) συμμετέχει στο σχεδιασμό του συστήματος τιμολόγησης του φ.α. Για παράδειγμα, ορίζει την τιμή του φ.α. σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας (entire value chain), συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής, της μεταφοράς και της κατανάλωσης. Ωστόσο, σύμφωνα με την πρώτη Βιομηχανική Πολιτική του Σχιστολιθικού Αερίου – Shale Gas Industrial Policy (Shale Gas Policy) που εισήχθη την 30^η

Οκτωβρίου 2013, η τιμή του σχιστολιθικού αερίου στην κεφαλή της γεώτρησης (wellhead price) δεν καθορίζεται πλέον από την NDRC.

Το Υπουργείο Οικονομικών (MOF) είναι υπεύθυνο για την παροχή φορολογικής στήριξης στους φορείς του σχιστολιθικού αερίου κατά τη διάρκεια της φάση έρευνας.

Οι αρχές που διέπουν την πολιτική της Κίνας για το σχιστολιθικό αέριο καθορίζονται στο πενταετές πρόγραμμα (**Five-year Plan**). Το ισχύον νομικό πλαίσιο για την έρευνα και εκμετάλλευση του σχιστολιθικού φ.α. βασίζεται στην Ανακοίνωση σχετικά με την Ενίσχυση της Έρευνας, Εκμετάλλευσης, Εποπτείας και Διοίκησης του σχιστολιθικού αερίου (Notice Regarding the Strengthening of Shale Gas Exploration, Exploitation, Supervision and Administration), τον Οκτώβριο του 2012, η οποία κυκλοφόρησε από το MLR μετά το πενταετές πρόγραμμα. Η ανακοίνωση χρησιμεύει ως κατευθυντήρια οδηγία, τόσο για τις ιδιωτικές επιχειρήσεις, όσο και για τις αρχές της τοπικής αυτοδιοίκησης που ασχολούνται με τις δραστηριότητες σχιστολιθικού αερίου. Στην ανακοίνωση, το MLR τονίζει τη στρατηγική σημασία του σχιστολιθικού αερίου ως πηγής καθαρής ενέργειας και προτρέπει για καλύτερη ρύθμιση της αγοράς, ώστε να διασφαλιστεί η σωστή ανάπτυξή του μακροπρόθεσμα. Το MLR θα είναι άμεσα υπεύθυνο για τη διαχείριση και την καταχώριση των δικαιωμάτων εκμετάλλευσης του σχιστολιθικού αερίου. Τα δικαιώματα έρευνας διεξάγονται κατά κύριο λόγο με δημόσιες προσφορές και δανειοδότηση (Farah&Tremolada, 2016).

Η εγχώρια έρευνα και ανάπτυξη του πετρελαίου ήταν κατά παράδοση ο τομέας των κρατικών επιχειρήσεων της Κίνας. Σύμφωνα με τον Νόμο περί Ορυκτών Πόρων (**Law on Mineral Resources**), μόνο οι κρατικά ελεγχόμενες οντότητες μπορούν να αποκτήσουν δικαιώματα έρευνας και εκμετάλλευσης ορυκτών πόρων, ενώ οι ξένες εταιρείες περιορίζονται σε μικρής εμβέλειας συνεργασίες με τις ελεγχόμενες από το κράτος οντότητες και, σε ορισμένες περιπτώσεις, συμφωνίες κατανομής της παραγωγής. Όλοι οι φορείς υλοποίησης έργων θα πρέπει να εκπονήσουν μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η οποία θα πρέπει να κατατεθεί στις εθνικές και τοπικές ρυθμιστικές αρχές και να εγκριθεί πριν από την υποβολή του σχεδίου ανάπτυξης του πεδίου (field-development plan). Οι άδειες για την εξόρυξη, εκδίδονται βάσει του σχεδίου ανάπτυξης, και όχι ανά γεώτρηση. Και οποιεσδήποτε σημαντικές αλλαγές στο σχέδιο, για παράδειγμα σχετικά με την πυκνότητα των γεωτρήσεων (κάναβος γεώτρησης), απαιτούν την υποβολή νέας μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι ξένες επιχειρήσεις με την τεχνολογία εξόρυξης και έρευνας του σχιστολιθικού αερίου ενθαρρύνονται ιδιαίτερα να δημιουργήσουν κοινοπραξίες με σκοπό τις επενδύσεις και την ενεργό συμμετοχή στη βιομηχανία για την προώθηση της περαιτέρω ανάπτυξης.

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Η πολιτική για το σχιστολιθικό αέριο (Shale Gas Policy) που διαμορφώνεται σύμφωνα με το πενταετές πρόγραμμα έχει ως στόχο την προώθηση της ταχύτερης και υγιέστερης ανάπτυξης της βιομηχανίας του σχιστολιθικού αερίου, την αύξηση της εγχώριας παροχής σχιστολιθικού αερίου, τη μείωση των εκπομπών άνθρακα και τη βελτίωση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού. Η πολιτική για το σχιστολιθικό αέριο εισήγαγε ορισμένα νέα υποστηρικτικά μέτρα και κίνητρα για την ενθάρρυνση της ανάπτυξης του εν λόγω τομέα, τα οποία περιλαμβάνουν: i) Προσδιορισμός της βιομηχανίας σχιστολιθικού αερίου ως μία από τις αναπτυσσόμενες βιομηχανικές στρατηγικές που θα απολαύουν φορολογικών κινήτρων και οικονομικών ενισχύσεων, όπως αυτά καθορίζονται στο 12ο Πενταετές Πρόγραμμα, ii) Δημιουργία πιλοτικών ζωνών (pilot zones) για την εφαρμογή τεχνολογιών αιχμής, εξοπλισμού και προηγμένων συστημάτων διαχείρισης για την έρευνα και εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου, iii) Ενθάρρυνση επέκτασης των υποδομών διαχείρισης και μεταφοράς υδρογονανθράκων, ιδίως των αγωγών μεταφοράς συμπιεσμένου φ.α. (CNG) και των εγκαταστάσεων υγροποιημένου φ.α. (LNG), ανάπτυξη και άνοιγμα επενδυτικών ευκαιριών σε όλη την αλυσίδα αξίας (value chain) του σχιστολιθικού αερίου για όλους τους τύπους εταιρειών, και τέλος iv) Εφαρμογή αυστηρότερων πολιτικών προστασίας του περιβάλλοντος που απαιτούν, μεταξύ άλλων, εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων πριν από την έναρξη ενός έργου σχιστολιθικού αερίου και απαγόρευση της δραστηριότητας έρευνας και εκμετάλλευσης σε φυσικά καταφύγια, γραφικές περιοχές, περιοχές συντήρησης πόσιμου νερού ή περιοχές με γεωλογικούς κινδύνους.

Πάνω από το 80% των αγωγών πετρελαίου και φ.α. της Κίνας ανήκουν και λειτουργούν από την PetroChina και τρίτοι (third-party) παραγωγοί φ.α. δεν έχουν άμεση και χαμηλού κόστους πρόσβαση στο δίκτυο αγωγών. Αυτός είναι ένας από τους βασικούς τομείς τους οποίους καλείται να αντιμετωπίσει η Πολιτική του Σχιστολιθικού αερίου (**Shale Gas Policy**). Την 13η Φεβρουαρίου 2014, η Εθνική Υπηρεσία Ενέργειας (NEA) δημοσίευσε τα Μέτρα για τη Ρύθμιση της Δίκαιης και Ανοικτής Πρόσβασης στα Δίκτυα Αγωγών Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου (*Measures for Regulation of Fair and Open Access to Oil and Gas Pipeline Networks – NEA Measures*), τα οποία θα ισχύουν για μία δοκιμαστική περίοδο πέντε ετών. Τα Μέτρα της NEA στοχεύουν στην παροχή πρόσβασης σε τρίτους παραγωγούς στις υποδομές αγωγών φ.α. και πετρελαίου όταν υπάρχει «πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα». Ωστόσο, οι όροι πρόσβασης εξακολουθούν να υπόκεινται στη διακριτική ευχέρεια του φορέα εκμετάλλευσης και τα μέτρα της NEA δεν καθιστούν σαφές πώς πρέπει να οριστεί η πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα. Την 28^η Φεβρουαρίου 2014, η

NDRC δημοσίευσε, επίσης, τα Μέτρα Διαχείρισης για την Κατασκευή και Λειτουργία Υποδομών Φυσικού Αερίου (*Management Measures for Natural Gas Infrastructure Construction and Operation – NDRC Measures*), τα οποία ενθαρρύνουν κρατικές επιχειρήσεις, ιδιωτικές εταιρείες και ξένες εταιρείες να επενδύσουν στον τομέα των υποδομών φ.α. και να απελευθερώσουν περαιτέρω την αγορά, προωθώντας τον θεμιτό ανταγωνισμό (Norton Rose Fullbright, 2015).

Τέλος, ο κυριότερος ανασταλτικός παράγοντας της ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου είναι ότι τα μεγαλύτερα δυνατά αποθέματα βρίσκονται στις γεωγραφικά πολύπλοκες, απομακρυσμένες ορεινές περιοχές στα βορειοδυτικά, όπου η έλλειψη νερού αποτελεί εμπόδιο στην εμπορική παραγωγή του σχιστολιθικού φ.α. και νοτιοδυτικά, όπου η υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα συνεπάγεται δυσκολίες για την εμπορική παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου. Οι πολιτικές, οι κανονισμοί και τα σχέδια που αφορούν το νερό καθορίζονται σε εθνικό επίπεδο, ενώ οι αρμοδιότητες διαχείρισης και επιβολής ανατίθενται σε τοπικό επίπεδο. Σε εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο συνυπάρχουν πολλές διαφορετικές οντότητες, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει εμπόδια λόγω του περιορισμένου συντονισμού - συνεργασίας των υδάτινων πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής του ποταμού. Τα εθνικά πρότυπα ορίζουν τις μέγιστες συγκεντρώσεις για τη διάθεση ρυπογόνων ουσιών σε πηγές νερού και ο Νόμος περί των Υδάτων (**Circular Water Law**) προωθεί την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των αποβλήτων και του παραγόμενου νερού (IEA, 2012).

5.3.4. Αυστραλία

Η Αυστραλία είναι μια ομοσπονδία αποτελούμενη από έξι κράτη (Νέα Νότια Ουαλία, Κουίνσλαντ, Νότια Αυστραλία, Τασμανία, Βικτώρια και Δυτική Αυστραλία) και δύο εδάφη (Australian Capital Territory - Αυστραλιανό Πρωτεύον Κράτος και Northern Territory – Βόρεια Επικράτεια). Σύμφωνα με το ισχύον ρυθμιστικό πλαίσιο που διέπει τον τομέα των υδρογονανθράκων στην Αυστραλία, *οι εξουσίες και οι αρμοδιότητες κατανέμονται μεταξύ των ομοσπονδιακών, κρατικών, εδαφικών και τοπικών αρχών.* Κάθε κράτος και η Βόρεια Επικράτεια έχουν τη δική τους νομοθετική εξουσία σχετικά με τις δραστηριότητες εξερεύνησης και παραγωγής πετρελαίου εντός των ορίων τους. Τα κράτη έχουν δικαιώματα επί των παράκτιων υδάτων από την ακτογραμμή έως το όριο των τριών μιλίων και από κοινού ρυθμιστικό πλαίσιο στα ομοσπονδιακά ύδατα που γειτνιάζουν με κάθε κράτος και τη Βόρεια Επικράτεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

Το καθεστώς για την εκμετάλλευση πετρελαίου από χερσαία κοιτάσματα (onshore petroleum regime) στην Αυστραλία ξεκινά από μια θεμελιώδη θέση διαχείρισης των σχιστολιθικών πόρων με τον ίδιο τρόπο όπως και τους συμβατικούς πόρους πετρελαίου. Για παράδειγμα, ο Νόμος περί πετρελαίου και γεωθερμικών ενεργειακών πόρων του 1967 (**Petroleum and Geothermal Energy Resources Act, 1967**) της Δυτικής Αυστραλίας ορίζει ότι «πετρέλαιο» περιλαμβάνει οποιονδήποτε φυσικά απαντώμενο υδρογονάνθρακα ή μείγμα υδρογονανθράκων, ο οποίος βρίσκεται είτε σε αέρια, υγρή είτε σε στερεά κατάσταση. Ο εν λόγω νόμος εξαιρεί ειδικά το σχιστολιθικό πετρέλαιο (δηλαδή τους υδρογονάνθρακες που περιέχονται σε πετρώματα, τα οποία μπορούν να ανακτηθούν μόνο με την εξόρυξη αυτών των πετρωμάτων ως σχιστόλιθοι) και δεν αποκλείει το πετρέλαιο ή το φ.α. που ανακτώνται από τον σχιστόλιθο ή άλλο μητρικό πέτρωμα.

Εκτός από τους διάφορους νόμους περί πετρελαίου και αγωγών, υπάρχει ένα εκτεταμένο σύνολο νομοθεσίας που διέπει τις upstream πετρελαϊκές δραστηριότητες, καλύπτοντας θέματα όπως το περιβάλλον, την ανάπτυξη και τα δικαιώματα γης και την υγεία και ασφάλεια στην εργασία. Οι περισσότεροι νόμοι δεν αφορούν ειδικά τον κλάδο του πετρελαίου και φ.α. Ορισμένοι φορείς σε όλα τα επίπεδα διακυβέρνησης έχουν κάποιο ρόλο στη ρύθμιση των upstream πετρελαϊκών δραστηριοτήτων (BP Statistical Review of World Energy , 2016).

Σύμφωνα με την αυστραλιανή νομοθεσία, *οι πόροι υδρογονανθράκων ανήκουν στο κράτος (σε ομοσπονδιακό, κρατικό ή εδαφικό επίπεδο)* εις το όνομα της κοινότητας και οι κυβερνήσεις σε όλα τα επίπεδα έχουν ρόλο «διαχειριστή» των πετρελαϊκών πόρων. Όσοι κατέχουν τίτλο ιδιοκτησίας ή εκμίσθωσης γης δεν έχουν δικαιώματα σε τυχόν υποκείμενα αποθέματα πετρελαίου και τα δικαιώματα έρευνας και παραγωγής αυτών χορηγούνται από τις τοπικές κυβερνήσεις ή την ομοσπονδιακή κυβέρνηση. Εν γένει, οι ιδιοκτήτες γης δεν έχουν δικαίωμα να αρνηθούν την πρόσβαση στον κάτοχο δικαιωμάτων έρευνας και παραγωγής πετρελαίου (petroleum tenure holder) για την εκτέλεση των εργασιών του, αλλά έχουν αξίωση αποζημίωσης για τον αντίκτυπο των εργασιών αυτών. Η έγκριση εμπίπτει γενικά στην ευθύνη της ομοσπονδιακής ή της τοπικής αρχής, και απαιτείται, επίσης, και για την κατασκευή αγωγών και εγκαταστάσεων πετρελαίου, όπως οι αντίστοιχες του LNG.

Με την αυξημένη πετρελαϊκή δραστηριότητα στην Αυστραλία και την αυξημένη ανησυχία για τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της, υπάρχει μια σταθερή έμφαση στην ενίσχυση του ρυθμιστικού πλαισίου για την προστασία του περιβάλλοντος. Υπάρχει ένα νομοθετικό πλαίσιο του κράτους και της Κοινοπολιτείας που εφαρμόζεται στις δραστηριότητες
Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

πετρελαίου. Δεδομένου ότι η χερσαία πετρελαϊκή δραστηριότητα (onshore petroleum activity) έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει σημαντικά το περιβάλλον, οι κυβερνήσεις του κράτους ή της επικράτειας θα απαιτήσουν ενδεχομένως αυστηρές διαδικασίες περιβαλλοντικής έγκρισης.

Οι κυριότεροι ομοσπονδιακοί κανονισμοί είναι ο Νόμος περί Αποθήκευσης του παραγόμενου Υπεράκτιου Πετρελαίου και Αερίων του Θερμοκηπίου (**Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act, 2006**) και ο Νόμος περί Προστασίας του Περιβάλλοντος και της Βιοποικιλότητας του 1999 (**Environment Protection and Biodiversity Protection Act, 1999 - EPBC Act**). Σύμφωνα με τον νόμο EPBC, εάν ένα έργο επηρεάζει θέματα εθνικής περιβαλλοντικής σημασίας, απαιτείται ομοσπονδιακή έγκριση. Τα έργα LNG στο Queensland, συμπεριλαμβανομένων και των upstream δραστηριοτήτων μεθανίου από γαιάνθρακα (CBM) πυροδοτούν την ανάγκη για ομοσπονδιακή έγκριση. Εν γένει, είναι απαραίτητο να διενεργείται μελέτη και εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων πριν την υλοποίηση οποιουδήποτε upstream έργου, το οποίο ενδέχεται να έχει σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον (IEA, Golden Rules for a Golden Age of Gas, 2012).

Η πρόσβαση στο νερό αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την ανάκτηση του σχιστολιθικού αερίου. Οι κυβερνήσεις κρατών και εδαφών ρυθμίζουν και διαχειρίζονται τους υδάτινους πόρους με στόχο την προστασία και την προώθηση της βιώσιμης και αποδοτικής χρήσης του νερού. Οι άδειες για χρήση ύδατος εκδίδονται βάσει ειδικής νομοθεσίας περί δικαιωμάτων των υδάτων. Το νερό, γενικά δεν μπορεί να αντληθεί από υδάτινο ρεύμα ή υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες χωρίς άδεια..

Ορισμένες πολιτείες έχουν θεσπίσει κανονισμούς διαχείρισης του περιβάλλοντος και ασφάλειας που απευθύνονται ειδικά στη βιομηχανία μη συμβατικού φ.α. ή έχουν κυρίως αντίκτυπο σε αυτήν. Για παράδειγμα, απαιτούνται πρόσθετες υποχρεώσεις γνωστοποίησης και υποβολής εκθέσεων για δραστηριότητες που σχετίζονται με την υδραυλική ρωγμάτωση. Αυτό περιλαμβάνει αποκάλυψη των χημικών ενώσεων που προστίθενται στο ρευστό της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η κυβέρνηση της Δυτικής Αυστραλίας, για παράδειγμα, απαιτεί «πλήρη δημοσιοποίηση και διαφάνεια για όλα τα προϊόντα, τα πρόσθετα, τις χημικές ουσίες και τις ουσίες που χρησιμοποιούνται στις γεωτρήσεις, στις δραστηριότητες της υδραυλικής ρωγμάτωσης και τις σχετικές δραστηριότητες πετρελαίου». Τον Σεπτέμβριο του 2014, η κυβέρνηση της Βικτώρια θέσπισε νομοθεσία που απαγορεύει τη χρήση ορισμένων χημικών προϊόντων (BTEX benzene, toluene, ethylbenzene και xylene) στη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης.

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Η περιβαλλοντική ρύθμιση της θαλάσσιας δραστηριότητας πετρελαίου (onshore petroleum activity) ποικίλλει μεταξύ των κρατών και των εδαφών, αν και υπάρχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά. Οι περισσότερες εργασίες έρευνας και παραγωγής πετρελαίου απαιτούν περιβαλλοντική έγκριση βάσει της νομοθεσίας πετρελαίου του κράτους ή της επικράτειας, η οποία εκδίδεται συνήθως με την έγκριση ενός ικανοποιητικού σχεδίου διαχείρισης περιβάλλοντος. Το σχέδιο αυτό πρέπει να περιγράφει τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τη σημασία τους και τον τρόπο διαχείρισης αυτών των επιπτώσεων. Για τις δραστηριότητες υδραυλικής ρωγμάτωσης, θα πρέπει να εξεταστεί, μεταξύ άλλων, η μεταφορά του εξοπλισμού, η διαχείριση των καυσίμων, χημικών και επικίνδυνων υλικών και η διαχείριση του παραγόμενου νερού και του ρευστού επιστροφής.

Όταν οι χερσαίες δραστηριότητες πετρελαίου είναι πιθανόν να έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, απαιτείται πληρέστερη και λεπτομερέστερη εκτίμηση σύμφωνα με τη σχετική νομοθεσία περί προστασίας του περιβάλλοντος του κράτους ή της επικράτειας. Υπάρχουν διάφορα επίπεδα εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ανάλογα με την περιβαλλοντική σημασία και την πολυπλοκότητα του προτεινόμενου έργου. Για ορισμένα έργα μπορεί να απαιτείται διαδικασία δημόσιας διαβούλευσης.

Εξελίξεις στο κανονιστικό καθεστώς

Έχουν υπάρξει αλλαγές στο κανονιστικό καθεστώς, ιδίως όσον αφορά την διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Δεδομένου ότι η βιομηχανία του σχιστολιθικού φ.α. στην Αυστραλία είναι σε πρωταρχικό στάδιο, με την πάροδο του χρόνου είναι πιθανό να λάβουν χώρα περισσότερες αλλαγές στους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που ισχύουν για το σχιστολιθικό αέριο.

- *Εθνικό εναρμονισμένο κανονιστικό πλαίσιο (National Harmonised Regulatory Framework, 2013).*

Το Μόνιμο Συμβούλιο για την Ενέργεια και τους Πόρους (**The Standing Council on Energy and Resources - SCER**), ενέκρινε και εφάρμοσε ένα εναρμονισμένο πλαίσιο για τη ρύθμιση του CBM. Το Εθνικό Εναρμονισμένο Κανονιστικό Πλαίσιο παρέχει μια σειρά αρχών βασικών - πρακτικών, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο καθοδήγησης και αναφοράς για τις ομοσπονδιακές, κρατικές και τοπικές κυβερνητικές αρχές της Αυστραλίας για τη βιομηχανία του CBM. Το πλαίσιο καθορίζει 18 βασικές πρακτικές για τον μετριασμό των δυνητικών επιπτώσεων επικεντρώνεται σε τέσσερις βασικούς τομείς δραστηριοτήτων, οι οποίοι καλύπτουν τον κύκλο ζωής της ανάπτυξης

του φ.α. από το CBM: ακεραιότητα της γεώτρησης, διαχείριση και παρακολούθηση των υδάτων, υδραυλική ρωγμάτωση και χρήση χημικών ουσιών. Το πλαίσιο αναγνωρίζει ότι, αν και το σχιστολιθικό αέριο και το CBM έχουν ορισμένες κοινές διαδικασίες εξερεύνησης και ανάπτυξης, τα γεωλογικά και υδρολογικά ζητήματα που ισχύουν για τις διάφορες μορφές μη συμβατικού φ.α. είναι επίσης σημαντικά.

- *Πιθανή κρατική μεταρρύθμιση.*

Ως απάντηση στις ανησυχίες της κοινότητας, από το Αύγουστο του 2012, έχει τεθεί σε εφαρμογή μορατόριουμ σχετικά με εγκρίσεις νέων αδειών εξερεύνησης CBM και εγκρίσεων υδραυλικής ρωγμάτωσης για όλα τα υπάρχοντα πετρελαϊκά έργα. Η κυβέρνηση της Βικτώρια επανεξετάζει επί του παρόντος τις κανονιστικές ρυθμίσεις της ενάντια στις βασικές αρχές του Εθνικού Εναρμονισμένου Κανονιστικού Πλαισίου. Σύμφωνα με την κυβέρνηση, το ισχύον πλαίσιο δεν πληροί πλήρως τις 18 βασικές αρχές και βρίσκεται στη διαδικασία εξέτασης των ενεργειών που πρέπει να αναληφθούν πριν την άρση του μορατόριουμ.

Η κυβέρνηση της Δυτικής Αυστραλίας εκπόνησε μια ανεξάρτητη εξέταση των κανονισμών που σχετίζονται με τη έρευνα του πετρελαίου και της γεωθερμίας, με έμφαση τις επιπτώσεις από την ανάπτυξη των δραστηριοτήτων του μη συμβατικού φ.α. (σχιστολιθικό αέριο, έγκλειστο αέριο και CBM). Η έκθεση έκανε 15 συστάσεις για αλλαγές στο ρυθμιστικό πλαίσιο. Η κυβέρνηση της Δυτικής Αυστραλίας βρίσκεται στο στάδιο της αναθεώρησης και της βελτίωσης του ρυθμιστικού της πλαισίου για έργα onshore φ.α., προκειμένου να διασφαλιστεί ότι πραγματοποιούνται σύμφωνα με τις βέλτιστες πρακτικές της βιομηχανίας και να παράσχει ένα πιο ισχυρό, εφαρμόσιμο και διαφανές ρυθμιστικό πλαίσιο (Norton Rose Fullbright, 2015).

5.3.5. Ευρώπη

Παρά τα πιθανά οικονομικά οφέλη της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση, στα κράτη-μέλη της παρουσιάζεται έντονος προβληματισμός για το αν θα πρέπει να προχωρήσουν στην παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, καθώς δεν υπάρχει ακόμα επαρκής ρύθμιση για τις δυνητικές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον από την εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η Ευρωπαϊκή Ένωση χρειάζεται το σχιστολιθικό αέριο για να αυξήσει τις ενεργειακές της απαιτήσεις και σε επίσημο επίπεδο η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υποστηρίζει ότι το υφιστάμενο ρυθμιστικό πλαίσιο είναι επαρκές για τον έλεγχο των επιπτώσεων της υδραυλικής ρωγμάτωσης τόσο στην υγεία, όσο και στο περιβάλλον. Οι

διαφορετικές απόψεις που διατυπώνονται μεταξύ των κρατών-μελών σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου και απορρέουν από τη γενική εκτίμηση ότι το υφιστάμενο ρυθμιστικό πλαίσιο δεν είναι επαρκές («fit for purpose») ενδέχεται να επιβραδύνουν την εξέλιξη της ανάπτυξής του στην ΕΕ.

Η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου αποτελεί ένα αμφιλεγόμενο θέμα εντός των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι αντιδράσεις απέναντι στην ενδεχόμενη ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου εντός της ΕΕ ποικίλουν από την ευνοϊκή θέση της Πολωνίας, η οποία θεωρεί ότι η παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου μπορεί να φέρει οικονομική ευημερία, δημιουργία περισσότερων θέσεων εργασίας και εξασφάλιση ενεργειακής ασφάλειας, μέχρι την απορριπτική θέση χωρών όπως η Γαλλία, η Βουλγαρία και η Σκωτία, με την απαγόρευση εφαρμογής της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Άλλα κράτη-μέλη ανησυχούν περισσότερο για τις επιπτώσεις της υδραυλικής ρωγμάτωσης στις χώρες τους, ζητώντας να διενεργηθούν περισσότερες σχετικές επιστημονικές μελέτες.

5.3.5.1. Η περιβαλλοντική νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης που έχει εφαρμογή στις δραστηριότητες του σχιστολιθικού αερίου

Οι περισσότεροι κανονισμοί που ισχύουν για τις δραστηριότητες πετρελαίου και φ.α. στην Ευρωπαϊκή Ένωση καθορίζονται σε εθνικό επίπεδο, καθώς τα κράτη μέλη ορίζουν το δικό τους ισοζύγιο ενέργειας και λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με την ανάπτυξη των εγχώριων πόρων. Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, υπάρχει ένα κοινό σύνολο κανόνων (βάσει της οδηγίας 94/22/ΕΚ 1994 για την αδειοδότηση υδρογονανθράκων) η οποία αποσκοπεί στην εξασφάλιση διαφανούς και άνευ διακρίσεων πρόσβαση στις δυνατότητες εξερεύνησης, ανάπτυξης και παραγωγής υδρογονανθράκων. Ωστόσο όμως, ο κύριος τομέας στον οποίο δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία συνολικά είναι η *προστασία του περιβάλλοντος* με μια εκτεταμένη σειρά σχετικών οδηγιών.

Βάσει των διαθέσιμων τεχνολογικών πληροφοριών, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θεωρεί ότι τα έργα μη συμβατικών υδρογονανθράκων, στα οποία γίνεται συνδυασμένη χρήση των προηγμένων τεχνικών της οριζόντιας γεώτρησης και της υδραυλικής ρωγμάτωσης υψηλού όγκου, κυρίως στην έρευνα και εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου, καλύπτονται από την περιβαλλοντική νομοθεσία της ΕΕ από το σχεδιασμό μέχρι το πέρας των εργασιών (Potocnik, 2012), ως εξής:

- Οδηγία σχετικά με την εκτίμηση των επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον (**Environmental Impact Assessment**) (85/337/ΕΕ).

- Οδηγία σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων της εξορυκτικής βιομηχανίας (**Mine Waste Directive**) (2006/21/EE).
- Οδηγία για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων (**Water Framework Directive**) (2000/60/EE).
- Κανονισμός σχετικά με την καταχώρηση, αξιολόγηση και αδειοδότηση των χημικών προϊόντων (**REACH**) (1907/2006/EE).
- Οδηγία σχετικά με τη διάθεση βιοκτόνων στην αγορά (**Biocidal Products Directive**) (98/8/EE).
- Οδηγία σχετικά με τον έλεγχο των κινδύνων πρόκλησης μεγάλων ατυχημάτων σχετιζόμενων με επικίνδυνες ουσίες (**Seveso II**) (96/82/EE).
- Οδηγία σχετικά με τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων και της άγριας πανίδας και χλωρίδας (**Habitats**) (92/43/EE).
- Οδηγία σχετικά με την περιβαλλοντική ευθύνη όσον αφορά την πρόληψη και την αποκατάσταση των περιβαλλοντικής ζημίας (**Environmental Liability Directive**) (2004/35/EE).

Παρακάτω, παρουσιάζεται μία σύντομη ανάλυση για το πώς οι παραπάνω αναφερόμενες Οδηγίες εφαρμόζονται στις εργασίες του σχιστολιθικού αερίου.

1. Στρατηγική Περιβαλλοντική Εκτίμηση - ΣΠΕ (Strategic Environmental Assessment - SEA)

Η Οδηγία (2001/42/ΕΚ) ορίζει ότι η Στρατηγική Περιβαλλοντική Εκτίμηση αποτελεί το πρώτο βήμα για τις αρμόδιες αρχές πριν εξετάσουν αιτήσεις για χορήγηση αδειών αναζήτησης, έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων, ιδίως για έργα μεγάλης κλίμακας, καθώς και για έργα που απαιτούν την εφαρμογή υδραυλικής ρωγμάτωσης υψηλού όγκου (HVHF). Η εκτίμηση αυτή αφορά όλες τις δυνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, τη βιοποικιλότητα, τον πληθυσμό, το υδατικό περιβάλλον, την ατμόσφαιρα, τη χλωρίδα, την πανίδα, το κλίμα, την πολιτιστική κληρονομιά, το τοπίο και την ανθρώπινη υγεία.

Η οδηγία ΣΠΕ απαιτεί για όλα τα έργα εθνικής εμβέλειας, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που χρηματοδοτούνται από την ΕΕ, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, να εκτελείται στρατηγική εκτίμηση. Στην περίπτωση της υδραυλικής ρωγμάτωσης, η ΣΠΕ εφοδιάζει τις αρμόδιες αρχές με τις απαραίτητες πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων. Το σχιστολιθικό αέριο ως φ.α. απαιτεί στρατηγική περιβαλλοντική εκτίμηση ως μέρος του χωροταξικού σχεδιασμού.

Σημειώνεται, ωστόσο, ότι η οδηγία ΣΠΕ, παρά τη σημασία και τις συστάσεις της, έχει παραβιαστεί από ορισμένα Κράτη Μέλη. Η Ισπανία και η Πολωνία απέρριψαν την εφαρμογή της ΣΠΕ υποστηρίζοντας ότι οι αιτήσεις αδειών έρευνας δεν μπορούν να θεωρηθούν σχέδια ή προγράμματα μεγάλης κλίμακας. Παρ' όλα αυτά η Πολωνία έχει εκδώσει σχετική άδεια στην εταιρεία Chevron που καλύπτει μια πολύ μεγάλη περιοχή του δικτύου Natura 2000. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Υπουργείο Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής χορήγησε άδειες στην εταιρεία Cuadrilla στις περιοχές Lancashire (PEDL) 165 και Balcombe στο Δυτικό Σάσεξ χωρίς να διεξαγάγει προηγουμένως ΣΠΕ.

2. Φάση πριν από την ανάπτυξη (Pre-development phase)

Η αναζήτηση του σχιστολιθικού αερίου καθώς και τα έργα εκμετάλλευσής του εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της Οδηγίας Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων – ΕΠΕ (**EIA Directive**). Η Οδηγία αυτή υπαγορεύει την εκτίμηση των σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (στη φύση, τα υδάτινα αποθέματα, τη γη κ.λπ.) από τον διαχειριστή του έργου, καθώς απαιτείται να λάβει σχετική αδειοδότηση πριν την εκκίνηση οποιασδήποτε έρευνας ή έργου. Στο πλαίσιο της διαδικασίας χορήγησης άδειας, οι δημόσιες και οι περιβαλλοντικές αρχές πρέπει να έχουν το δικαίωμα να εκφράζουν την άποψή τους σχετικά με την αίτηση άδειας και να έχουν πρόσβαση στην απόφαση χορήγησης ή μη της άδειας. Οι απόψεις αυτές πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν από την αρμόδια αρχή. Σε περίπτωση που μία άδεια χορηγηθεί στον διαχειριστή για έρευνα σχιστολιθικού αερίου ή έργου εκμετάλλευσης, τα μέλη του «ενδιαφερόμενου κοινού», συμπεριλαμβανομένων των Μη Κυβερνητικών Οργανώσεων – Non - Governmental Organization, θα δικαιούνται να αμφισβητήσουν σε εθνικό επίπεδο την νομιμότητα της απόφασης.

Εκτός από την Οδηγία ΕΠΕ, εκ των προτέρων αξιολόγηση των επιπτώσεων, συμπεριλαμβανομένων των αθροιστικών επιπτώσεων, για ένα μελλοντικό έργο σχιστολιθικού αερίου, απαιτείται και από την Οδηγία για τους Οικότοπους (**Habitats Directive**), στην περίπτωση που το έργο ενδέχεται να επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό περιοχές Natura 2000 (Άρθρο 6). Εκτός των περιοχών Natura 2000, η Οδηγία περί των Οικοτόπων, προβλέπει ειδικό καθεστώς αδειοδότησης για έργα που ενδέχεται να επηρεάσουν περιοχές αναπαραγωγής ή ανάπαυσης προστατευόμενων ειδών (Άρθρα 12 και 16).

Προτού λάβει χώρα η υλοποίηση ενός έργου σχιστολιθικού αερίου, ο διαχειριστής πρέπει να πληροί τις υποχρεώσεις έναντι της Οδηγίας σχετικά με τη Διαχείριση των Αποβλήτων της

Εξορυκτικής Βιομηχανίας (**Mining Waste Directive**). Ειδικότερα, καθώς το χρησιμοποιούμενο ρευστό της υδραυλικής ρωγμάτωσης λογίζεται ως «εξορυκτικό απόβλητο» και ως εκ τούτου οποιαδήποτε περιοχή σχεδιάζεται και επιλέγεται για τη συγκέντρωση ή τη διάθεσή του θεωρείται ως «εγκατάσταση αποβλήτων», ο διαχειριστής πρέπει να προσκομίσει άδεια σύμφωνα με την εν λόγω Οδηγία, η οποία πρέπει να βασίζεται στις «Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές».

Η Επιτροπή επανεξετάζει επί του παρόντος το υφιστάμενο έγγραφο αναφοράς (BREF – Best Available Techniques (BAT) Reference Document) για τα απόβλητα της εξορυκτικής βιομηχανίας, ώστε να καλύπτει τη διαχείριση των αποβλήτων από την έρευνα και την παραγωγή υδρογονανθράκων. Την 1η Ιουνίου 2015 ξεκίνησε η εκπόνηση ενός νέου εγγράφου BREF για την έρευνα και την παραγωγή υδρογονανθράκων. Όπως και στην Οδηγία ΕΠΕ, η Οδηγία περί των εξορυκτικών αποβλήτων απαιτεί από τον διαχειριστή, ο οποίος ζητά την άδεια, να παρέχει πληροφορίες για το έργο και τις επιπτώσεις και να παρέχει εν παραλλήλω στο κοινό το δικαίωμα να διαβουλευέται και να εκφράζει την γνώμη του. Σημειωτέον, ο διαχειριστής οφείλει να καταρτίσει σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων και πολιτική πρόληψης μεγάλων ατυχημάτων, εάν η εγκατάσταση ταξινομείται ως «Κατηγορίας Α», σύμφωνα με την Οδηγία. Επίσης, ο διαχειριστής πρέπει να δώσει, πριν από την έναρξη του έργου, χρηματική εγγύηση προκειμένου να αποδείξει ότι είναι σε θέση να εκπληρώσει όλες τις υποχρεώσεις έναντι της άδειας (συμπεριλαμβανομένων και των καθηκόντων μετά την περάτωση των εργασιών).

3. Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Environmental impacts assessments)

Η οδηγία 2011/92/ΕΕ (ΕΠΕ), όπως τροποποιήθηκε από την οδηγία 2014/52/ΕΕ, διασφαλίζει ότι εντοπίζονται οι σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις πριν ληφθούν αποφάσεις που επιτρέπουν την υλοποίηση ενός έργου το οποίο ενδέχεται να έχει περιβαλλοντικό αποτύπωμα κατά τη λειτουργία του. Η Οδηγία αυτή έχει ευρύ πεδίο εφαρμογής. Ωστόσο, δε λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες μιας γεώτρησης σχιστολιθικού αερίου, στην οποία η παραγωγή μειώνεται γρήγορα συγκριτικά με μια γεώτρηση συμβατικού φ.α., αλλά και τις αθροιστικές επιπτώσεις που προκαλούνται λόγω του υψηλού αριθμού απαιτούμενων γεωτρήσεων.

Η ΕΠΕ είναι υποχρεωτική για έργα εμπορικής εξόρυξης και παραγωγής φ.α. με παραγωγή άνω των 500.000 m³ ημερησίως. Αυτό είναι απίθανο να επιτευχθεί. Μία γεώτρηση

σχιστολιθικού αερίου παράγει στα αρχικά στάδια περίπου 250.000 m³ που μειώνονται σε λιγότερο από 100.000 m³ ανά ημέρα.

Σημειώνεται ότι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, το 2014, εξέτασαν την ΕΠΕ απορρίπτοντας τις ρήτρες που ψήφισε το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, οι οποίες εισηγούνταν να συμπεριληφθούν οι δραστηριότητες του σχιστολιθικού αερίου στο υποχρεωτικό παράρτημα 1 της οδηγίας ΕΠΕ. Αυτό θα μπορούσε να έχει καταστήσει την υδραυλική ρωγμάτωση ταξινομημένη δραστηριότητα με σημαντική επίδραση στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα να απαιτείται υποχρεωτικά η εκπόνηση Μελέτης Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων βάσει του παραρτήματος 1.

Ορισμένες χώρες μέλη της ΕΕ κατέστησαν υποχρεωτική την ΕΠΕ για έργα έρευνας και παραγωγής μη συμβατικού αερίου, όπως για παράδειγμα η Βουλγαρία (την κατέστησε υποχρεωτική από το 2012) και η Λιθουανία (για έργα εκμετάλλευσης συμβατικών και μη συμβατικών υδρογονανθράκων). Άλλα κράτη μέλη υιοθέτησαν απλώς την οδηγία ΕΠΕ χωρίς να αναφέρουν εάν θα ισχύει για έργα μη συμβατικών υδρογονανθράκων (Tawonezvi, 2016).

4. Υδραυλική ρωγμάτωση και διαχείριση του νερού επιστροφής (hydraulic fracturing and management of flowback water)

Η Επιτροπή θεωρεί ότι το Άρθρο 11(3)(j) της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα (**Water framework Directive**) δεν επιτρέπει τη διάθεση του νερού επιστροφής (το οποίο περιέχει επικίνδυνες χημικές ουσίες) μέσω εισπίεσης σε υπεδαφικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Ως εκ τούτου, το Άρθρο 11(3)(j) δεν μπορεί να εφαρμοστεί για τις δραστηριότητες του σχιστολιθικού αερίου. Αυτό είναι σύμφωνο με τον σκοπό της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα (διασφαλίζοντας την καλή ποιότητα και κατάσταση των υδάτινων πόρων) και υποστηρίζεται από το ιστορικό των διαπραγματεύσεων αυτής της Οδηγίας, δεδομένου ότι η εν λόγω ρήτρα εξαίρεσης επινοήθηκε για τις διεργασίες των συμβατικών υδρογονανθράκων. Συνεπώς, η Οδηγία σχετικά με τη Διαχείριση των Αποβλήτων της Εξορυκτικής Βιομηχανίας (**Mining Waste Directive**) εφαρμόζεται και απαιτεί την επεξεργασία του νερού επιστροφής.

Επιπροσθέτως, ο διαχειριστής του έργου εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου μπορεί επίσης να χρειαστεί να λάβει άδεια σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (**Water framework Directive**), εάν το έργο απαιτήσει την άντληση μεγάλων ποσοτήτων νερού από την επιφάνεια ή τον υπόγειο υδάτινο ορίζοντα. Η απόρριψη ρύπων (αποβλήτων νερού που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες) σε υπόγειους ορίζοντες απαγορεύεται ρητά. Εάν, η

εγκατάσταση εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου υπόκειται στην ισχύ της **Οδηγίας SEVESO II** (ανάλογα με τα όρια που σχετίζονται με την αποθήκευση φ.α. ή επικίνδυνων ουσιών που απαριθμούνται στην Οδηγία ή υπόκεινται στο μείγμα χημικών προϊόντων επί τόπου), ο διαχειριστής πρέπει να πληροί διάφορες υποχρεώσεις πριν την έναρξη του έργου, όπως η ενημέρωση της αρμόδιας αρχής σχετικά με τη φύση και την ποσότητα των επικινδύνων ουσιών, οι οποίες θα αποθηκευτούν ενός της εγκατάστασής του. Σε περίπτωση κατά την οποία ο διαχειριστής δεν πληροί τα καθήκοντά του, το Κράτος Μέλος μπορεί να πρέπει να απαγορεύσει την έναρξη της εν λόγω δραστηριότητας.

Σύμφωνα με τον Κανονισμό REACH (**REACH Regulation**), οι κατασκευαστές και οι εισαγωγείς ουσιών, οι οποίες χρησιμοποιούνται στις εργασίες του σχιστολιθικού αερίου, ήταν υποχρεωμένοι να καταχωρήσουν την ουσία μέχρι τον Δεκέμβριο του 2010, εφόσον η παραγόμενη ή εισαγόμενη ποσότητα ξεπερνούσε τους 1000 τόνους/έτος ή για μικρότερο βάρος εάν επρόκειτο για επικίνδυνες χημικές ουσίες. Κατά την εγγραφή, θα πρέπει να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες για την ασφαλή χρήση τους για το σκοπό αυτό. Εάν ο διαχειριστής ενός έργου σχιστολιθικού αερίου, χρησιμοποιεί καταχωρημένες επικίνδυνες χημικές ουσίες, οι προμηθευτές του οφείλουν να παρέχουν στον ίδιο ένα εκτεταμένο φύλλο δεδομένων ασφαλείας, το οποίο εμπεριέχει σενάρια έκθεσης (exposure scenarios). Στην περίπτωση που ο διαχειριστής διαπιστώσει ότι τα σενάρια έκθεσης που έχουν υποβληθεί δεν καλύπτουν τη συγκεκριμένη χρήση, υποχρεούται να ενημερώσει τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Χημικών Προϊόντων (European Chemicals Agency - ECHA) και να παρέχει τις σχετικές πληροφορίες σύμφωνα με το Άρθρο 38. Εναλλακτικά, έχει τη δυνατότητα να ζητήσει από τον προμηθευτή του να αναπτύξει ένα σενάριο έκθεσης το οποίο να καλύπτει τη χρήση ή να βρίσκει μία εναλλακτική ουσία ή διαδικασία η οποία πληροί τις προϋποθέσεις του Κανονισμού REACH. Μέχρις ότου να πληρούνται οι άνω συνθήκες, οι εν λόγω ανησυχητικές ουσίες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν νόμιμα στις εργασίες του σχιστολιθικού αερίου.

Σημειωτέον, οποιαδήποτε βιοκτόνα προϊόντα, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά τις εργασίες θα πρέπει να συμμορφώνονται με την Οδηγία για τα Βιοκτόνα Προϊόντα (**Biocidal Products Directive**).

5. Αδειοδότηση, επανεξέταση αδειών και παρακολούθηση περιβάλλοντος

Οι περισσότεροι νόμοι που ισχύουν για τις δραστηριότητες πετρελαίου και φ.α. στην ΕΕ καθορίζονται σε εθνικό επίπεδο, καθώς τα ΚΜ ορίζουν το δικό τους ισοζύγιο ενέργειας και

λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με την ανάπτυξη των εγχώριων πόρων. Σε επίπεδο ΕΕ, υπάρχει ένα κοινό σύνολο κανόνων βάσει της οδηγίας 94/22/ΕΚ για την αδειοδότηση δραστηριοτήτων υδρογονανθράκων, η οποία αποσκοπεί στην εξασφάλιση διαφανούς και άνευ διακρίσεων πρόσβαση στις δυνατότητες έρευνας, ανάπτυξης και παραγωγής υδρογονανθράκων.

Από τη στιγμή που ένας διαχειριστής έργου σχιστολιθικού αερίου λάβει σχετική άδεια, έχει το δικαίωμα να ξεκινήσει την δραστηριότητά του. Θα πρέπει, τότε, να πληροί όλες τις προϋποθέσεις που ορίζονται στην άδειά του, υπό την προϋπόθεση ότι εν λόγω συνθήκες εξασφαλίζουν τη συμμόρφωση με την περιβαλλοντική νομοθεσία της ΕΕ. Οι σχετικές αρχές της ΕΕ μπορεί να εισηγηθούν επανεξέταση και αν καταστεί απαραίτητο, αναθεώρηση της άδειας και των συναφών συνθηκών. Για παράδειγμα, η Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (**Water framework Directive**) προβλέπει την περιοδική επανεξέταση της άδειας για την άντληση υδάτων, ενώ η Οδηγία σχετικά με τη Διαχείριση των Εξορυκτικών Αποβλήτων (**Mining Waste Directive**) ορίζει λεπτομερώς την περιοδική αναθεώρηση, και όταν είναι απαραίτητο, τον εκσυγχρονισμό των όρων της άδειας από τις αρμόδιες αρχές. Η εν λόγω αναθεώρηση συνήθως πραγματοποιείται με βάση τις παρεχόμενες πληροφορίες από τον κάτοχο της άδειας σχετικά με την υλοποίηση του έργου και για την εκπλήρωση των όρων που καθορίζονται στην άδειά του και από τους αρμόδιους φορείς παρακολούθησης.

Οι αρμόδιες αρχές είναι επιφορτισμένες με τις υποχρεώσεις παρακολούθησης. Για παράδειγμα, βάσει της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα (**Water Framework Directive**), μεταξύ άλλων, πρέπει να ελέγχεται συστηματικά η ποσότητα χημικών του υπόγειου υδάτινου συστήματος-σώματος και να αναλαμβάνεται δράση σε περίπτωση σημαντικής χημικής ρύπανσης, συμπεριλαμβανομένης της αναθεώρησης των όρων της άδειας. Σύμφωνα με την Οδηγία σχετικά με τη Διαχείριση των Εξορυκτικών Αποβλήτων (**Mining Waste Directive**), όχι μόνο ο διαχειριστής μιας εγκατάστασης διαχείρισης αποβλήτων πρέπει να ενημερώνει την αρμόδια αρχή όταν εντοπίζονται τυχόν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, αλλά και η ίδια η αρμόδια αρχή οφείλει να επιθεωρήσει την εγκατάσταση πριν από οποιαδήποτε διαδικασία εναπόθεσης και μάλιστα σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Σχετικά με την Οδηγία SEVESOII (**SEVESO II Directive**), τα Κράτη Μέλη πρέπει να οργανώνουν ένα σύστημα επιθεωρήσεων/ελέγχων της εγκατάστασης, έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι ο διαχειριστής έχει λάβει όλα τα απαραίτητα μέτρα για την πρόληψη πρόκλησης σοβαρών ατυχημάτων. Εάν η επιθεώρηση προβεί στην ανακάλυψη παρουσίας

σοβαρών ελλείψεων αυτών των μέτρων, το Κράτος Μέλος θα πρέπει εν συνεχεία να απαγορεύσει τη χρήση της συγκεκριμένης εγκατάστασης.

6. Περιβαλλοντική ευθύνη (Environmental liability)

Σύμφωνα με την Οδηγία σχετικά με την Περιβαλλοντική Ευθύνη (**Environmental Liability Directive**) εάν το έργο σχιστολιθικού αερίου οδηγήσει σε σημαντική περιβαλλοντική ζημία, εξ αιτίας, για παράδειγμα, της υπεράντλησης νερού από ένα μικρό επιφανειακό υδάτινο σώμα (επηρεάζοντας ως συνέπεια την κατάσταση του υδάτινου σώματος), σκόπιμων ή ακούσιων διαρροών ρευστών υδραυλικής ρωγμάτωσης, χημικών ουσιών, είτε αποβλήτων στο περιβάλλον, ο διαχειριστής θα θεωρηθεί υπεύθυνος, και θα κληθεί να αναλάβει το κόστος της αποκατάστασης. 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 σχιστολιθικού αερίου θα μπορούσε επίσης να αναληφθεί σε περίπτωση πρόκλησης σημαντικής ζημίας σε περιοχή Natura 2000. Επίσης, είναι δυνατό να γίνεται αναφορά στις υποχρεώσεις κατά το κλείσιμο του έργου και μετά αυτό που επιβάλλονται στους φορείς εκμετάλλευσης των εγκαταστάσεων διαχείρισης των εξορυκτικών αποβλήτων. Πράγματι, όπως ορίζεται από την Οδηγία Διαχείρισης Εξορυκτικών Αποβλήτων (**Mining Waste Directive**), ο διαχειριστής παραμένει υπεύθυνος για τα μέτρα παρακολούθησης, συντήρησης και διόρθωσης κατά τη φάση και μετά το κλείσιμο και για όσο απαιτείται από την αρμόδια αρχή. Επίσης, στην περίπτωση πρόκλησης σοβαρού ατυχήματος εντός της εγκατάστασης του σχιστολιθικού αερίου, η οποία λογίζεται ως εγκατάσταση SEVESO, η Οδηγία SEVESO II (**SEVESO II Directive**), απαιτεί από τον διαχειριστή να παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες του γεγονότος στην αρμόδια αρχή, συμπεριλαμβανομένων των μέτρων που προβλέπονται για τη μείωση των μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων αρνητικών επιπτώσεων του ατυχήματος.

5.3.5.2. Οι εξελίξεις της νομοθεσίας για το σχιστολιθικό αέριο στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει στην ΕΕ νομοθετική πράξη αποκλειστικά για την έρευνα και παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου. Υπάρχει, ωστόσο, μια σειρά διαφόρων νομοθετικών κειμένων και πράξεων, οι οποίες μπορούν να έχουν εφαρμογή στην έρευνα και εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου και περιλαμβάνουν το *κοινοτικό κεκτημένο (acquis-communitaire)*, τις συνθήκες (treaties), τους κανονισμούς (regulations), τις οδηγίες (directives) και τις αποφάσεις (decisions), καθώς και τις συστάσεις (recommendations). Η ΕΕ έχει με την πάροδο των ετών εργαστεί για να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

υφιστάμενης νομοθεσίας προκειμένου να διασφαλίσει ότι είναι αρκετά πλήρης για να αντιμετωπίσει τις δυνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις δραστηριότητες του σχιστολιθικού αερίου. Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο (European Council) εισηγήθηκε το 2011 την εκτίμηση της αιφόρου εξόρυξης και της ενίσχυσης της ενεργειακής ασφάλειας με τη χρήση των μη συμβατικών υδατανθράκων στην ΕΕ. Ακολούθησε μια σειρά εκθέσεων (reports), οι οποίες κατέληξαν σε μια σύσταση (recommendation) το 2014 (Πίνακας 5-7).

Πίνακας 5-7: Νομοθετικά κείμενα και πράξεις της ΕΕ σχετικά με το σχιστολιθικό αέριο

Ευρωπαϊκή Επιτροπή		
Μελέτη	Κύριοι Στόχοι - Συμπεράσματα	Έτος Δημοσίευσης
<i>Final Report on Unconventional Gas in Europe</i> (Μη συμβατικό φ.α. στην Ευρώπη, Philippe and partners).	Η ευρωπαϊκή περιβαλλοντική νομοθεσία εφαρμόζεται σε όλα τα στάδια της ανάπτυξης του μη συμβατικού φ.α. Στις υπό μελέτη χώρες: Γερμανία, Γαλλία, Πολωνία και Σουηδία, δεν υπάρχουν σημαντικά κενά στο νομοθετικό πλαίσιο που ρυθμίζει τις δραστηριότητες σχιστολιθικού αερίου. Απαίτηση βελτιώσεων στην εθνική νομοθεσία με δυνητική επέκταση των δραστηριοτήτων του.	2011
<i>Guidance note on the application of Directive 85/337/EEC to projects related to the exploration and exploitation of unconventional hydrocarbon</i> (Σημείωμα με κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με την εφαρμογή της Οδηγίας 85/337/EEC σε έργα που αφορούν την έρευνα και εκμετάλλευση μη συμβατικών υδρογονανθράκων).	Αποσαφήνιση του κατωφλίου (thresholds) πέραν του οποίου η Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων-ΕΠΕ καθίσταται υποχρεωτική. Υφίσταται ήδη ένα περιεκτικό περιβαλλοντικό νομικό πλαίσιο το οποίο ισχύει τόσο για τις δραστηριότητες συμβατικών όσο και μη συμβατικών υδρογονανθράκων, από το στάδιο της αδειοδότησης μέχρι το στάδιο της αποκατάστασης.	2011

<p>Legal assessment - Transmission Note on the EU environmental legal framework applicable to shale gas projects (Νομική Αξιολόγηση – Σημειώμα μετάδοσης στην ευρωπαϊκή περιβαλλοντική, η οποία έχει εφαρμογή στις δραστηριότητες του σχιστολιθικού αερίου, Janez Potocnik).</p>	<p>Περιγραφή και επεξήγηση εργασιών όρυξης οριζόντιας γεώτρησης, εφαρμογής της υδραυλικής ρωγμάτωσης, παραγωγής σχιστολιθικού αερίου και των δυνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα διάφορα στάδια του έργου. Επεξήγηση της υφιστάμενης νομοθεσίας της ΕΕ, η οποία αφορά τις εν λόγω δραστηριότητες. Επιβεβαίωση απαίτηση εφαρμογής της ΕΠΕ στο στάδιο έγκρισης του έργου και ανάγκη συμμετοχής του κοινού στη λήψη αποφάσεων.</p>	<p>2012</p>
<p>Potential risks for the environment and human health arising from shale gas extraction in Europe (Δυνητικοί Κίνδυνοι για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία από την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη).</p>	<p>Η εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου εν γένει προκαλεί μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα από την ανάπτυξη του συμβατικού φ.α. Ανάγκη ύπαρξης κατάλληλου πλαισίου για την εξασφάλιση περιβαλλοντικά αποδεκτής εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη, λόγω του εντοπισμού ελλείψεων στην υφιστάμενη νομοθεσία.</p>	<p>2012</p>
<p>Climate Impact of Potential Shale Gas Production in the EU (Επίπτωση στο κλίμα από την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, AEA).</p>	<p>Η παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου προκαλεί περισσότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την παραγωγή του συμβατικού φ.α. στην Ευρώπη. Η ύπαρξη κατάλληλης διαχειρισής του προκαλεί λιγότερες εκπομπές από το εισαγόμενο φ.α. που παράγεται εκτός της ΕΕ και μεταφέρεται στην Ευρώπη είτε μέσω δικτύου αγωγών είτε ως LNG.</p>	<p>2012</p>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

<p><i>Unconventional gas: Potential energy market impacts in the European Union</i> (Επιπτώσεις στην ενεργειακή αγορά, Joint Research Center).</p>	<p>Το μη συμβατικό φ.α. έχει οδηγήσει σε αύξηση του εφοδιασμού σε υδροποιημένο φ.α. (LNG) σε παγκόσμιο επίπεδο, επηρεάζοντας έμμεσα τις τιμές του φ.α. στην Ε.Ε.</p>	<p>2012</p>
<p><i>Study on the regulatory provisions governing key aspects of unconventional gas development in eight Member States</i> (Κανονιστικές διατάξεις που διέπουν καίριες πτυχές της ανάπτυξης του μη συμβατικού φ.α. σε οκτώ κράτη μέλη, Directorate General Environment).</p>	<p>Στόχος: ο προσδιορισμός των διαφορών και των ομοιοτήτων στις προσεγγίσεις για την ανάπτυξη του μη συμβατικού φ.α. Συμπέρασμα: ύπαρξη ορισμένων ρυθμιστικών κενών και νομικών αβεβαιοτήτων, αλλά και τομέων, στους οποίους η ισχύουσα νομοθεσία μπορεί να θεωρηθεί επαρκής για την κάλυψη των ειδικών επιπτώσεων της εξερεύνησης και εκμετάλλευσης μη συμβατικού φ.α. Εντοπισμός παραδειγμάτων κανονιστικών διατάξεων που εφαρμόζονται ειδικά στις δραστηριότητες μη συμβατικού φ.α. στα επιλεγμένα κράτη μέλη (π.χ. διαχείριση της επαγόμενης σεισμικότητας).</p>	<p>2013</p>

<p>Assessment of the use of certain substances in hydraulic fracturing of shale gas reservoirs under REACH (Αξιολόγηση της χρήσης ορισμένων ουσιών για την υδραυλική ρωγμάτωση των ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου βάσει του κανονισμού REACH, Joint Research Centre Institute for Health and Consumer Protection).</p>	<p>Απαιτείται η εξέταση του ενδεχομένου αύξησης των διαθέσιμων πληροφοριών σχετικά με τη χρήση, την έκθεση και τη διαχείριση του κινδύνου για τις ουσίες που χρησιμοποιούνται στα ρευστά της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Ίδρυση της Υπηρεσίας Διαφάνειας Ρευστού και Πρόσθετων Συστατικών Υδραυλικής Ρωγμάτωσης NGS (NGS Hydraulic Fracturing Fluid and Additive Component Transparency Service).</p>	<p>2013</p>
<p>Study on the assessment of land and water use scenarios for shale gas development: Poland and Germany (Αξιολόγηση των σεναρίων χρήσης γης και ύδατος για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου: Πολωνία και Γερμανία, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability).</p>	<p>Η κατάληψη γης και τα πρότυπα κατανομής των well pads για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Ο βαθμός στον οποίο η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου θα μπορούσε πράγματι να οδηγήσει σε κατακερματισμό του τοπίου και σε σύγκρουση με άλλους χρήστες γης θα εξαρτηθεί από την κλίμακα ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου και από λοιπούς παράγοντες όπως η πυκνότητα των well pads και ο αριθμός των γεωτρήσεων ανά pad, οι γεωλογικές ιδιαιτερότητες των ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου.</p>	<p>2013</p>
<p>Overview of hydraulic fracturing and other formation stimulation technologies for shale gas production (Επισκόπηση της υδραυλικής ρωγμάτωσης και άλλων τεχνολογιών διέγερσης σχηματισμού για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, Joint Research Centre).</p>	<p>Εξέταση της υδραυλικής ρωγμάτωσης και των εναλλακτικών τεχνολογιών ρωγμάτωσης (πιθανή εφαρμογή, πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα, κόστος).</p>	<p>2013&2015</p>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

<p><i>Study on Mitigation of climate impacts o fpossible future shale gas extraction in the EU: available technologies, best practices and options for policy makers</i> (Μείωση των κλιματικών επιπτώσεων της πιθανής μελλοντικής εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου στην Ε.Ε.: διαθέσιμες τεχνολογίες, βέλτιστες πρακτικές και επιλογές για τους φορείς χάραξης πολιτικής).</p>	<p>Ανάπτυξη μιας λίστας πιθανών πολιτικών επιλογών για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της έρευνας και παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Ε.Ε. και αξιολόγηση των κλιματικών, περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων τους.</p>	<p>2014</p>
<p><i>Macro-economic effects of shale gas extraction in the EU</i> (Μακροοικονομικές επιπτώσεις της εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου στην Ε.Ε).</p>	<p>Αξιολόγηση των επιπτώσεων διαφόρων πολιτικών διαχείρισης του περιβαλλοντικού κινδύνου του σχιστολιθικού αερίου στο ενεργειακό σύστημα και την οικονομία, βάσει σεναρίων.</p>	<p>2014</p>
<p><i>Technical support for assessing the need for a risk management framework for shale gas extraction).</i> (Τεχνική μελέτη για την αξιολόγηση της ανάγκης διαχειριστικού πλαισίουόσοναφορά τους κινδύνους από την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου).</p>	<p>Επισκόπηση ζητημάτων που συνδέονται με την εξόρυξηφ.α. μέσω της υδραυλικής ρωγμάτωσης υψηλού όγκου και των οριζόντιων γεωτρήσεων από περιβαλλοντική και κανονιστική οπτική, αξιολόγηση των διαθέσιμων μέτρων για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών κινδύνων και των επιπτώσεών τους. Περιγραφή επιλεγμένων επιλογών πολιτικής που είναι διαθέσιμες για την εφαρμογή τέτοιων μέτρων.</p>	<p>2014</p>

<p><i>Study on the application in 11 Member States of the Recommendation 2014/70/EU on minimum principles for the exploration and production of hydrocarbons (such as shale gas) using high-volume hydraulic fracturing</i> (Εφαρμογή σε 11 κράτη μέλη της Σύστασης 2014/70/ΕΕ).</p>	<p>Δεν υφίσταται συνεχής εμπορική παραγωγή υδρογονανθράκων μέσω της χρήσης υδραυλικής ρωγμάτωσης μεγάλου όγκου (HVHF) στην Ε.Ε. Ορισμένα κράτη μέλη έχουν χορηγήσει ή σχεδιάζουν να χορηγήσουν άδειες για έρευνητή παραγωγή μη συμβατικών υδρογονανθράκων (όπως το σχιστολιθικό αέριο) που μπορεί να απαιτούν τη χρήση HVHF. Αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο τα κράτη μέλη εφάρμοσαν τις αρχές της Σύστασης και τις επιλεγμένες νομικές απαιτήσεις της Ε.Ε. σε επίπεδο προγραμματισμού και αδειοδότησης. Περιγραφή των κανονιστικών και μη κανονιστικών εξελίξεων στα κράτη μέλη μετά την έγκριση της Σύστασης. Συγκέντρωση πληροφοριών σχετικά με το ενδεχόμενο κόστος των μέτρων που λαμβάνονται ως αποτέλεσμα της έγκρισης της Σύστασης.</p>	<p>2016</p>
<p>Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο</p>		

<p><i>Impacts of Shale Gas extraction on the environment and on human health</i> (Επιπτώσεις από την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία).</p>	<p>Το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο σχετικά με την υδραυλική ρωγμάτωση παρουσιάζει ορισμένες ελλείψεις. Επισήμανση του υψηλού ορίου που τίθεται για την εφαρμογή της ΕΠΕ. Αναγκαιότητα αναθεώρησης της οδηγίας-πλαίσου για τα ύδατα επικεντρώνοντας τις δυνητικές επιπτώσεις από την υδραυλική ρωγμάτωση στα επιφανειακά ύδατα. Πρόταση εξέτασης της απαγόρευσης της χρήσης τοξικών χημικών ουσιών.</p>	<p>2011</p>
<p><i>The environmental impacts of shale gas and shale oil extraction activities</i> (Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από τις δραστηριότητες εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου και πετρελαίου, Bogusław Sonik).</p>	<p>Υποστήριξη αξιοποίησης του μη συμβατικού φ.α. Ανάγκη αντιμετώπισης των ανησυχιών σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εξόρυξη του.</p>	<p>2011</p>
<p>Βιομηχανικές, ενεργειακές και άλλες πτυχές του σχιστολιθικού φ.α. και πετρελαίου, ITRE.</p>	<p>Συμβολή του σχιστολιθικού φ.α. και πετρελαίου στην επίτευξη των στόχων της Ε.Ε. για την εξάλειψη των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Επίσημανση της αυτονομίας κάθε Κράτους Μέλους (ΚΜ) ως προς την απόφαση εκμετάλλευσης ή όχι του σχιστολιθικού αερίου. Απαίτηση εφαρμογής ενός ισχυρού κανονιστικού πλαισίου για την βιώσιμη ανάπτυξη των δραστηριοτήτων του σχιστολιθικού αερίου.</p>	<p>2012</p>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Περιβαλλοντικό και Κανονιστικό Πλαίσιο σχετικά με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου

<p><i>Environmental Impact Assessment Directive</i> (Αναθεώρηση της Οδηγίας για την Εκτίμηση των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων – ΕΠΕ).</p>	<p>Μη υποχρεωτική εκπόνηση ΕΠΕ για την έρευνα και εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου. Ανάγκη εξέτασης ορισμένων πτυχών των έργων σχιστολιθικού αερίου, ιδίως των κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία λόγω της ρύπανσης των υδάτων, της χρήσης του εδάφους και του νερού, της ποιότητας και της ικανότητας αναγέννησης (regenerative capacity) του υπόγειου νερού. Η μη εκπόνηση της ΕΠΕ από τα ΚΜ απαιτεί την αιτιολογία της.</p>	<p>2014</p>
---	--	-------------

Σύσταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής της 22ης Ιανουαρίου 2014 (Commission Recommendation - CR)

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επιθυμώντας να εξασφαλίσει την περιβαλλοντική ακεραιότητα κατά την εξόρυξη μη συμβατικών υδρογονανθράκων και να διασφαλίσει ότι οι κίνδυνοι που ενδέχεται να προκύψουν από μεμονωμένα έργα και οι αθροιστικές επιπτώσεις τους διοικούνται επαρκώς στα κράτη μέλη που επιθυμούν να ερευνήσουν ή να εκμεταλλευτούν τέτοιους πόρους, εξέδωσε την 22^η Ιανουαρίου 2014 την μη δεσμευτική Σύσταση (2014/70/ΕΕ). Η Σύσταση καθορίζει τις ελάχιστες αρχές (minimum principles) για τα Κράτη Μέλη που επιθυμούν την έρευνα και παραγωγή υδρογονανθράκων (όπως το σχιστολιθικό αέριο) με τη χρήση της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης μεγάλου όγκου (High Volume Hydraulic Fracturing - HVHF), έχοντας ως σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος, την πρόληψη των κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία και την εξασφάλιση διαφάνειας και ενημέρωσης των πολιτών.

Η Σύσταση αποσκοπεί στη συμπλήρωση της υφιστάμενης νομοθεσίας της ΕΕ σε βασικά θέματα όπως: στρατηγικός σχεδιασμός και εκτίμηση των επιπτώσεων, αδειοδότηση, έρευνα και παραγωγή, χωροθέτηση και μελέτες βάσης (baseline studies) καθ' όλη της διάρκειας της παραγωγικής λειτουργίας μέχρι και την περίοδο παρακολούθησης του περιβάλλοντος μετά το κλείσιμο του έργου.

Η Σύσταση συνοδεύτηκε από μια *Ανακοίνωση* (Communication) που περιγράφει τις πιθανές νέες προκλήσεις και δυνατότητες που απορρέουν από την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη, καθώς και μια *Εκτίμηση Επιπτώσεων* (Impact Assessment) που εξέτασε τις κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαφόρων επιλογών πολιτικής.

Σημειωτέον η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, εισηγήθηκε στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Χημικών Προϊόντων (European Chemicals Agency - ECHA) να προβεί σε ορισμένες αλλαγές στην υπάρχουσα βάση δεδομένων των ήδη καταχωρημένων χημικών ουσιών, προκειμένου να βελτιωθεί και να διευκολυνθεί η αναζήτηση πληροφοριών σχετικά με καταχωρημένες ουσίες που χρησιμοποιούνται για την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης (Reporting substances used for hydraulic fracturing) (European Commission, 2016).

Εν συνεχεία της Ανακοίνωσης (Communication) της Επιτροπής το 2014, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προκειμένου να ενισχύσει τη βάση των επιστημονικών/τεχνολογικών γνώσεων, προέβη στη δημιουργία ενός *Ευρωπαϊκού Δικτύου Επιστήμης και Τεχνολογίας* (**European**

Science and Technology Network on Unconventional Hydrocarbon Extraction) για την εξόρυξη των μη συμβατικών υδρογονανθράκων, όπου συμμετέχουν επαγγελματίες της βιομηχανίας, μέλη της ερευνητικής και ακαδημαϊκής κοινότητας και της κοινωνίας των πολιτών (European Commission 2016). Το εν λόγω δίκτυο θα συλλέξει, θα αναλύσει και θα αναθεωρήσει τα αποτελέσματα των έργων έρευνας σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, ενώ επίσης θα εκτιμήσει την ανάπτυξη των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται σε έργα μη συμβατικού πετρελαίου και φ.α.

Σημειωτέον, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σκοπεύει να αξιολογήσει και να χαρτογραφήσει τις πηγές μη συμβατικού φ.α. και πετρελαίου της Ευρώπης χρησιμοποιώντας ως βάση τις τρέχουσες αξιολογήσεις που διεξάγονται από τις χώρες της ΕΕ. Τέλος, επόμενο βήμα της Επιτροπής αποτελεί η εκπόνηση έκθεσης σχετικά με τον δυνητικό αντίκτυπο στις ενεργειακές αγορές από το μη συμβατικό πετρέλαιο.

5.3.5.3. Κανονιστικό πλαίσιο για το σχιστολιθικό αέριο σε εθνικό επίπεδο

Η εξόρυξη του μη συμβατικού φ.α. βρίσκεται σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης στην ΕΕ και ως αποτέλεσμα, το νομικό πλαίσιο τείνει να εξελίσσεται ταχέως σε εθνικό επίπεδο. Παρακάτω, θα παρουσιαστεί το κανονιστικό-νομικό πλαίσιο σε οκτώ ευρωπαϊκές χώρες: τη Βουλγαρία, τη Δανία, τη Γερμανία, τη Λιθουανία, την Πολωνία, τη Ρουμανία, την Ισπανία και το Ηνωμένο Βασίλειο (MilieuLtd., 2013).

Βουλγαρία

Μέχρι σήμερα, στη νομοθεσία της Βουλγαρίας δεν υφίσταται διάκριση μεταξύ εξόρυξης συμβατικού και μη συμβατικού φ.α. Η βασική νομοθετική πράξη για την έρευνα και εξόρυξη φ.α. που εφαρμόζεται στη Βουλγαρία (συμπεριλαμβανομένης της υφαλοκρηπίδας και της αποκλειστικής οικονομικής ζώνης του Εύξεινου Πόντου – Μαύρη Θάλασσα) είναι ο Νόμος περί των Υπόγειων Πόρων (**Underground Resources Act**). Ο εν λόγω νόμος καλύπτει όλες τις πτυχές της αναζήτησης ή/και έρευνας και εξόρυξης υπογείων πόρων, την προστασία και την ορθολογική χρήση των υπόγειων πόρων και τη διαχείριση των αποβλήτων εξόρυξης.

Η νομοθεσία διαφοροποιεί τη φάση έρευνας και αναζήτησης (търсенеипроучване) και τη φάση εξόρυξης ορυκτών πόρων (добив). Η αδειοδότηση έργων αναζήτησης και έρευνας φ.α. εμπίπτει στην αρμοδιότητα του Υπουργικού Συμβουλίου (Министерскисъвет), μετά από πρόταση του Υπουργού Οικονομίας, Ενέργειας και Τουρισμού (Разрешениезатърсенеипроучванеилипроучване), ενώ η αδειοδότηση για έργα εξόρυξης

δεν μπορεί να γίνει πριν την ανάθεση παραχώρησης (award of a concession) από το Υπουργικό Συμβούλιο, ύστερα από πρόταση του Υπουργού Οικονομίας, Ενέργειας και Τουρισμού (Министърънаикονομικата, енергетикатаитуризма). Οι άδειες αναζήτησης και/ή έρευνας περιορίζονται σε πέντε χρόνια κατ' ανώτατο όριο, αλλά μπορούν να παραταθούν δύο φορές για μία χρονική περίοδο δύο ετών, ενώ οι παραχωρήσεις για την εξόρυξη χορηγούνται για 35 χρόνια, αλλά δεν μπορούν να παραταθούν περισσότερο από 15 χρόνια.

Δανία

Μέχρι σήμερα, στη Δανία δεν υπάρχει ειδική νομοθεσία για το σχιστολιθικό αέριο. Η νομοθεσία της Δανίας για τη μεταλλευτική δραστηριότητα αποτελείται από μία βασική πράξη που αφορά τον Νόμο περί του Υπεδάφους (**Subsoil Act**), ο οποίος εφαρμόζεται τόσο στις υπεράκτιες, όσο και στις χερσαίες δραστηριότητες και δεν κάνει διάκριση μεταξύ συμβατικών και μη υδρογονανθράκων. Ωστόσο, όσον αφορά θέματα περιβάλλοντος και ασφάλειας, ο Νόμος για το υπέδαφος συμπληρώνεται με σημαντική νομοθεσία. Ενώ έχει θεσπιστεί ειδική νομοθεσία για τις υπεράκτιες δραστηριότητες, οι γενικοί κανόνες που ισχύουν και εφαρμόζονται για όλες τις χερσαίες δραστηριότητες εφαρμόζονται και για την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού φ.α., όπως ο Νόμος περί Χωροταξίας (**Planning Act**), ο Νόμος περί Προστασίας του Περιβάλλοντος (**Environmental Protection Act**) και ο Νόμος περί του Εργασιακού Περιβάλλοντος (**Working Environment Act**). Επιπλέον, η δευτερογενής νομοθεσία (secondary legislation) και οι όροι της άδειας που βασίζονται στο μοντέλο σύμβασης (Model Licence) παρέχουν τις λεπτομέρειες στο πλαίσιο που καθορίζεται από τις κύριες πράξεις. Η τροποποίηση της Εκτελεστικής Διάταξης (Executive Order) για την περιβαλλοντική εκτίμηση ορισμένων δημόσιων και ιδιωτικών έργων εισήχθη την 1η Ιουλίου 2012. Με την εν λόγω τροποποίηση, τα έργα σχιστολιθικού αερίου περιλαμβάνονται εντός της υποχρέωσης γραπτής ενημέρωσης του Δήμου και απαίτησης εκπόνησης πλήρους Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (EIA), τόσο στη φάση έρευνας, όσο και στη φάση παραγωγής, εάν οι εργασίες γεώτρησης περιλαμβάνουν την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης.

Γερμανία

Μέχρι σήμερα, στη Γερμανία δεν υπάρχει ειδική νομοθεσία για το σχιστολιθικό αέριο, πέραν της νομοθεσίας που ισχύει για τους συμβατικούς υδρογονάνθρακες. Η γερμανική νομοθεσία για τη μεταλλευτική βιομηχανία αποτελείται από μια βασική πράξη, τον

Ομοσπονδιακό Μεταλλευτικό Νόμο του 1980 (**Federal Mining Act**) και διάφορα Μεταλλευτικά Διατάγματα, όπως: το Διάταγμα για την Εκτίμηση των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων των Μεταλλευτικών Έργων του 1990 (**Ordinance on the Environmental Impact Assessment of Mining Projects**), το Διάταγμα περί της Μεταλλευτικής Υγιεινής και Ασφάλειας του 1991 (**Health and Safety Mining Ordinance**) και το Ομοσπονδιακό Γενικό Μεταλλευτικό Διάταγμα του 1995 (**Federal General Mining Ordinance**). Οι διατάξεις καθορίζουν τεχνικά ή διαδικαστικά ζητήματα, ενώ ο Μεταλλευτικός Νόμος (**Mining Act**) καλύπτει όλες τις πτυχές της μεταλλευτικής δραστηριότητας, συμπεριλαμβανομένων της αδειοδότησης, της υγείας και της ασφάλειας, των περιβαλλοντικών θεμάτων και των απαιτήσεων συμμόρφωσης και παρακολούθησης, υπό τη συνολική εποπτεία μίας ενιαίας διοίκησης, ενώ συμπληρώνεται περαιτέρω από τους κανονισμούς βαθιών γεωτρήσεων των επιμέρους ομοσπονδιακών κρατιδίων (individual Länder).

Η Ομοσπονδιακή Μεταλλευτική Νομοθεσία (**Federal Mining Act**), ως η βασική νομοθεσία, έχει διάφορες λειτουργίες: εκτός από τη ρύθμιση και την προώθηση της έρευνας, της παραγωγής και της ανάπτυξης των ορυκτών πόρων, περιέχει επίσης διατάξεις που αποσκοπούν στη διασφάλιση της ασφάλειας των επιχειρήσεων και των ατόμων που απασχολούνται στις εξορυκτικές δραστηριότητες.

Η νομοθεσία διαφοροποιεί την έρευνα (Aufsuchung) και την εξόρυξη (Gewinnung) ορυκτών πόρων. Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τύποι αδειών ("Bergbauberechtigung"): οι άδειες έρευνας ("Erlaubnis") μόνο για έρευνα, οι άδειες παραγωγής ("Bewilligung") και οι μεταλλευτικές ιδιοκτησίες – εκμεταλλεύσεις (mining proprietorship) ("Bergwerkseigentum" "Alte Rechte") για έρευνα και εξόρυξη και τέλος τα παλαιά δικαιώματα ("alte Rechte"), τα οποία είναι παλαιές εγκρίσεις από τον παλαιό νόμο και εξακολουθούν να ισχύουν. Μέχρι σήμερα, αρκετά ομοσπονδιακά κράτη έχουν χορηγήσει άδειες έρευνας (Erlaubnisse) σχιστολιθικού αερίου: Βάδη-Βυρτεμβέργη, Έσση, Κάτω Σαξονία, Βόρεια Ρηνανία Βεστφαλία, Σαξονία-Άνχαλτ και Θουριγγία. Οι άδειες έρευνας και εξόρυξης (Bewilligungen, Bergwerkseigentum) δεν έχουν ακόμη κατακυρωθεί.

Η έναρξη μιας δραστηριότητας υπόκειται σε δύο νομικές απαιτήσεις. Πρώτον, την χορήγηση άδειας εκμετάλλευσης (Bergbauberechtigung), η οποία παρέχει στους φορείς εκμετάλλευσης το δικαίωμα έρευνας ή/και εκμετάλλευσης και, δεύτερον, την έγκριση των δραστηριοτήτων εξόρυξης (Betriebsgenehmigung) μέσω της κατάρτισης ενός επιχειρησιακού σχεδίου (Betriebsplan). Οι άδειες έρευνας, οι οποίες χορηγούνται σύμφωνα

με τον Ομοσπονδιακό Νόμο περί Μεταλλευτικών Δραστηριοτήτων (**Federal Mining Law**) περιορίζονται για μέγιστο διάστημα πέντε ετών. Το χρονικό περιθώριο για την έκδοση άδειας έρευνας δεν περιορίζεται από το νόμο και καθορίζεται κατά περίπτωση.

Οι μεταλλευτικές αρχές (Bergbehörden) των επιμέρους ομοσπονδιακών κρατιδίων όπου βρίσκονται οι ταμιευτήρες φ.α. (π.χ. περιφερειακή κυβέρνηση του Arnsberg, περιφερειακή αρχή της Βόρειας Ρηνανίας-Βεστφαλίας) είναι υπεύθυνες για την επιβολή των μεταλλευτικών νόμων (mining laws).

Αξίζει να σημειωθεί ότι, την 1η Φεβρουαρίου 2013, η άνω Βουλή του κοινοβουλίου (upper house of parliament) (Bundesrat) θέσπισε νομοθετική πρόταση για το μη συμβατικό φ.α., η οποία εισήχθη από τα κράτη της Βόρειας Ρηνανίας-Βεστφαλίας, Schleswig-Holstein, Βάδης-Βυρτεμβέργης, Βρέμης και Ρηνανίας-Παλατινάτου. Η άνω Βουλή συνέστησε στην ομοσπονδιακή κυβέρνηση τη συστηματική ανάλυση των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ρωγμάτωση, και ιδίως τη μελέτη των επιπτώσεών τους στην ποιότητα του νερού. Επιπλέον, εισηγήθηκε την υποχρεωτική Εκτίμηση των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΕΠΕ) για τις δραστηριότητες του σχιστολιθικού φ.α., στις περιπτώσεις που υπήρχαν τρεις ή περισσότερες γεωτρήσεις. Τέλος, την 26η Φεβρουαρίου 2013, ο Υπουργός Περιβάλλοντος σε συνεργασία με τον Υπουργό Οικονομικών υπέβαλαν πρόταση νόμου για την υδραυλική ρωγμάτωση, η οποία περιλαμβάνει υποχρεωτική ΕΠΕ και γενική απαγόρευση των δραστηριοτήτων ρωγμάτωσης σε περιοχές προστασίας του πόσιμου νερού μέσω της τροποποίησης του Ομοσπονδιακού Νόμου περί των Υδάτων (**Federal Water Act**).

Πολωνία

Επί του παρόντος, η εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου ρυθμίζεται από το γενικό Γεωλογικό και Μεταλλευτικό Νόμο (general **Geological and Mining Law**). Η πολωνική κυβέρνηση πρότεινε τον Φεβρουάριο του 2013 τροποποίηση του εν λόγω νόμου. Το σχετικό σχέδιο νόμου πρότεινε τις ακόλουθες αλλαγές:

- Ενσωμάτωση της παραχώρησης (έναντι των δύο παραχωρήσεων θα απαιτηθεί μόνο μία κοινή παραχώρηση για τις δραστηριότητες έρευνας και εξόρυξης).
- Οι περιβαλλοντικές ΜΚΟ (περιβαλλοντικές ενώσεις, κινήματα της κοινωνίας των πολιτών) οι οποίες αποτελούν μέρος της διαδικασίας Εκτίμησης των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΕΠΕ) πρέπει να καταχωρούνται τουλάχιστον 12 μήνες πριν από την έναρξη του έργου.

- Η διαδικασία της ΕΠΕ θα καλύπτει έκταση 500 μέτρων από τα εξωτερικά όρια της παραχώρησης.
- Σε περίπτωση πραγματοποίησης ορισμένων αλλαγών στην παραχώρηση (π.χ. αλλαγές στο βάθος της γεώτρησης ή αλλαγές στο χρονοδιάγραμμα και το πλάνο-πρόγραμμα των δραστηριοτήτων έρευνας και εκμετάλλευσης) δεν θα χρειάζεται νέα ΕΠΕ.
- Ερευνητικές γεωτρήσεις βάθους μικρότερου από 5.000 m δεν θα υπόκεινται σε ΕΠΕ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το κατώτατο όριο των 5.000 m θα σήμαινε ότι τα περισσότερα έργα έρευνας σχιστολιθικού αερίου δεν υπόκεινται σε έλεγχο βάσει της νομοθεσίας ΕΠΕ, δεδομένου ότι, σύμφωνα με το Πολωνικό Ινστιτούτο Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου (Polish Oil and Gas Institute), οι πολωνικοί πόροι σχιστολιθικού αερίου βρίσκονται συνήθως σε βάθος 1.200 m έως 2.500 m στον βορρά, και σε βάθος από 2.500 m έως 4.500 m στον νότο.

Ρουμανία

Στη Ρουμανία, η νομοθεσία δεν κάνει διάκριση μεταξύ των υπόγειων συμβατικών και των μη συμβατικών αποθεμάτων και του καθεστώτος εκμετάλλευσης και εξερεύνησής τους. Και οι δύο τύποι αποθεμάτων εμπίπτουν στον ευρύ ορισμό του «πετρελαίου» που προβλέπεται στο άρθρο 1 του Ρουμανικού Πετρελαϊκού Νόμου (**Romanian Petroleum Law**) αριθ. 238/2004. Ο ορισμός αναφέρει ότι το πετρέλαιο είναι οποιοδήποτε «*ορυκτό καύσιμο από μείγματα φυσικών υδρογονανθράκων συσσωρευμένα σε χερσαίες γεωλογικές υπεδαφικές δομές που μετά την παραγωγή στην επιφάνεια είναι είτε σε αέρια μορφή, ως φυσικό αέριο, είτε σε υγρή μορφή, ως αργό πετρέλαιο ή συμπύκνωμα*» και ότι ανήκει αποκλειστικά στο ρουμανικό κράτος (ανεξάρτητα από τον ιδιοκτήτη της γης στην επιφάνεια του εδάφους).

Η αρμόδια ρυθμιστική αρχή στον τομέα των φυσικών πόρων είναι ο Εθνικός Οργανισμός Ορυκτών Πόρων (National Mineral Resources Agency-NMRA). Η εν λόγω αρχή οργανώνει δημόσιες διαδικασίες και συνάπτει συμφωνίες παραχώρησης (concession agreements)(που καλούνται «συμφωνίες παραχώρησης – petroleum agreements») για την έρευνα και εκμετάλλευση πετρελαίου με τους επενδυτές, οι οποίες στη συνέχεια εγκρίνονται με κυβερνητικές αποφάσεις.

Μια συμφωνία παραχώρησης έχει πολλαπλά στάδια εκτέλεσης: έρευνα (μετά την ολοκλήρωση της γεωλογικής και σεισμικής έρευνας), ανάπτυξη και εκμετάλλευση και

μπορεί να περιλαμβάνει όλα αυτά τα στάδια ή μόνο κάποια συγκεκριμένα. Τα έργα έρευνας μπορούν επίσης να εκτελεστούν ξεχωριστά, με βάση τις άδειες αναζήτησης.

Ισπανία

Μέχρι σήμερα, η Ισπανία δεν διαθέτει ειδική νομοθεσία για τη ρύθμιση του μη συμβατικού φ.α., αλλά η υφιστάμενη νομοθεσία για τις συμβατικές πηγές ενέργειας έχει τη δυνατότητα να καλύπτει διάφορες πτυχές της εξόρυξης του μη συμβατικού φ.α. Ωστόσο, η έλλειψη ακριβούς αναφοράς στο μη συμβατικό αέριο εντός της υπάρχουσας νομοθεσίας οδηγεί σε νομική αβεβαιότητα και διακριτική εφαρμογή των μέτρων προστασίας του περιβάλλοντος και της υγείας.

Ο Νόμος 6/2010 σχετικά με την Εκτίμηση των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΕΠΕ) δεν αναφέρεται ρητώς σε δραστηριότητες μη συμβατικού φ.α. και ακολουθεί την Οδηγία που απαιτεί τη νεκρόνηση ΕΠΕ για έργα που περιλαμβάνουν βαθιές γεωτρήσεις και έχουν σκοπό την εμπορική εκμετάλλευση, με κατώφλι εφαρμογής την παραγωγή 500.000 m³/ημέρα. Σύμφωνα με αυτό το νομικό πλαίσιο, δεν είναι σαφές εάν θα διεξάγεται πάντοτε ΕΠΕ για τις δραστηριότητες μη συμβατικού φ.α., καθώς δεν καθορίζεται όριο για τη «βαθιά» γεώτρηση και το όριο παραγωγής ενδέχεται να μην επιτευχθεί. Σημειωτέον, δεν είναι σαφές εάν απαιτείται εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων για μία μεμονωμένη γεώτρηση ή για μια ολόκληρη εγκατάσταση, η οποία περιλαμβάνει αρκετές γεωτρήσεις. Σε αυτή την περίπτωση, μια απόφαση που ελήφθη από το Υπουργείο Περιβάλλοντος το 2011 σχετικά με ένα από τα έργα όρυξης μη συμβατικού φ.α. δεν απαιτούσε πλήρη εκτίμηση των επιπτώσεων.

Τον Ιανουάριο του 2012, η Βουλή των Αντιπροσώπων (House of Representatives) κάλεσε την ισπανική κυβέρνηση να θέσει σε αναμονή κάθε σχέδιο όρυξης γεώτρησης και αναζήτησης υδρογονανθράκων και να υποβληθεί για κάθε έργο ΕΠΕ, σύμφωνα με τον Νόμο περί Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (**Law on Environmental Impact Assessment**). Μεταξύ Οκτωβρίου 2012 και Ιανουαρίου 2013, το Υπουργείο Περιβάλλοντος ανακοίνωσε στις εταιρείες ενέργειας ότι όλες οι γεωτρήσεις (τόσο συμβατικού, όσο και μη συμβατικού φ.α.) που περιλαμβάνουν εφαρμογή της υδραυλικής ρωγμάτωσης θα υπόκεινται σε πλήρη Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Ένα νέο νομοσχέδιο εγκρίθηκε από το Υπουργικό Συμβούλιο την 15η Μαρτίου 2013 για την τροποποίηση του Νόμου περί της Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και την εισαγωγή δραστηριοτήτων μη συμβατικών υδρογονανθράκων που συνεπάγονται την εφαρμογή υδραυλικής ρωγμάτωσης στο παράρτημα Ι όπου απαριθμούνται οι δραστηριότητες που απαιτούν υποχρεωτική ΕΠΕ.

Επί του παρόντος, ο Νόμος 34/1998 για τον τομέα των υδρογονανθράκων και ο Κανονισμός για έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων που εγκρίθηκε με το Βασιλικό Διάταγμα (Royal Decree) 2362/1976 θέσπισαν τους κανόνες για τις διαδικασίες αδειοδότησης και διαφοροποιούν τις δραστηριότητες έρευνας και εκμετάλλευσης. Ωστόσο, η νομική βάση για την έγκριση μεμονωμένων έργων με σκοπό την όρυξη γεωτρήσεων δεν είναι σαφής, οι απαιτήσεις δεν προβλέπονται ρητά από την νομοθεσία και δε γίνεται αναφορά στην υδραυλική ρωγμάτωση. Το νομοσχέδιο που εγκρίθηκε την 15η Μαρτίου εισάγει την εξόρυξη μη συμβατικού φ.α., η οποία χρησιμοποιεί υδραυλική ρωγμάτωση, εντός του πεδίου εφαρμογής του ισχύοντος νομικού πλαισίου που ρυθμίζει τους υδρογονάνθρακες στην Ισπανία.

Ηνωμένο Βασίλειο

Στο Ηνωμένο Βασίλειο δεν υπάρχει ειδική νομοθετική διάταξη για το σχιστολιθικό αέριο και συνεπώς οι σχετικές δραστηριότητες καλύπτονται από τις γενικές διατάξεις για την έρευνα και ανάπτυξη του συμβατικού πετρελαίου και φ.α. Υπάρχουν επίσης τοπικοί έλεγχοι μέσω του σχεδιασμού χρήσης γης. Επιπλέον, υπάρχουν ορισμένες νομοθετικές διαφοροποιήσεις στη ρύθμιση του μη συμβατικού αερίου εντός της Αγγλίας και της Ουαλίας, της Σκωτίας και της Βόρειας Ιρλανδίας. Η άδεια εκμετάλλευσης πετρελαίου και φ.α. στην Αγγλία, την Ουαλία και τη Σκωτία διέπεται από τον Πετρελαϊκό Νόμο (**Petroleum Act**) του 1998, τους Κανονισμούς Πετρελαίου του 1995 (**Petroleum (Production) (Landward Areas) Regulations**) και τους Κανονισμούς της Οδηγίας για την Άδεια Υδρογονανθράκων του 1995 (**Hydrocarbon Licensing Directive Regulations**). Ο νόμος του 1998 κατοχυρώνει όλα τα δικαιώματα και την κυριότητα των πετρελαϊκών πόρων (πετρέλαιο και φ.α.) στην κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου, η οποία στη συνέχεια χορηγεί άδεια Έρευνας και Ανάπτυξης Πετρελαϊκών Κοιτασμάτων (Petroleum Exploration and Development Licence - PEDL) σε ανταγωνιστική προσφορά (γύροι αδειών) για την αποκλειστική έρευνα, ανάπτυξη, παραγωγή και εγκατάλειψη των υδρογονανθράκων στην περιοχή της άδειας. Συνεπώς, οι άδειες δεν αφορούν συγκεκριμένα το σχιστολιθικό αέριο, δεδομένου ότι στην καθορισμένη περιοχή δίδεται άδεια για την εξόρυξη τόσο συμβατικού, όσο και μη συμβατικού φ.α.

Η χορήγηση αδειών για πετρέλαιο και φ.α. στη Βόρειο Ιρλανδία διέπεται από τον Νόμο περί (Παραγωγής) Πετρελαίου - **Petroleum (Production) Act** του 1964, τους Κανονισμούς Παραγωγής Πετρελαίου - **Petroleum Production Regulations** του 1987, την Τροποποίηση των Κανονισμών Παραγωγής Πετρελαίου - **Petroleum Production (Amendment)**

Regulations του 2010 και τους Κανονισμούς της Οδηγίας περί της Αδειοδότησης Υδρογονανθράκων – **Hydrocarbon Licensing Directive Regulations** του 2010.

Ο Νόμος του 1964 κατοχύρωνε όλα τα δικαιώματα και την ιδιοκτησία των πόρων πετρελαίου στη Βόρεια Ιρλανδία στο Υπουργείο Εμπορίου (Department of Commerce), αρχικά, και μετέπειτα στο Υπουργείο Επιχειρήσεων, Εμπορίου και Επενδύσεων (Department of Enterprise, Trade and Investment-DETI). Το DETI εφαρμόζει ένα ανοικτό σύστημα αδειοδότησης (δηλαδή χωρίς γύρους αδειοδότησης), σύμφωνα με το οποίο οι αιτήσεις για άδειες πετρελαίου μπορούν να υποβάλλονται ανά πάσα στιγμή για οποιαδήποτε μη αδειοδοτημένη έκταση. Όπως και στην υπόλοιπη Βρετανία, οι άδειες πετρελαίου της Βόρειας Ιρλανδίας χορηγούνται αποκλειστικότητα για την περιοχή της άδειας για έρευνα και παραγωγή πετρελαίου και φ.α. και δε γίνεται διάκριση μεταξύ συμβατικού και μη συμβατικού πετρελαίου και φ.α.

Οι άδειες πετρελαίου της Βόρειας Ιρλανδίας λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με τις άδειες Έρευνας και Ανάπτυξης Πετρελαϊκών Κοιτασμάτων - PEDL στην Αγγλία, τη Σκωτία και την Ουαλία, δεδομένου ότι οι δραστηριότητες έρευνας και παραγωγής υπόκεινται σε μία σειρά από άδειες γεωτρήσεων/ανάπτυξης, άδειες χωροταξικού σχεδιασμού, υγείας και ασφάλειας και περιβαλλοντικών απαιτήσεων. Το DETI αξιολογεί την τεχνική ικανότητα, την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση και την οικονομική βιωσιμότητα των αιτούντων για άδεια πριν αποφασίσει σχετικά με τη χορήγηση της άδειας και επανεξετάζει τους όρους, όταν ο κάτοχος της άδειας αποφασίσει να προχωρήσει σε εργασίες όρυξης γεωτρήσεων.

5.4. Επτά «Χρυσό Κανόνες» για την παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου

Οι Χρυσές Κανόνες για μια Χρυσή Εποχή του Φυσικού Αερίου (Golden Rules for a Golden Age of Gas) αποτελούν Ειδική Έκθεση του World Energy Outlook (IEA, 2012) όπου υποστηρίχθηκε ότι το μη συμβατικό φ.α. θα μπορεί να αναπτυχθεί μόνο ως μέρος του παγκόσμιου ενεργειακού ισοζυγίου, εάν αντιμετωπιστούν μερικά σημαντικά εμπόδια και συγκεκριμένα οι κοινωνικές και περιβαλλοντικές ανησυχίες για την εξόρυξή του. Ενώ υπάρχουν η τεχνολογία και η τεχνογνωσία για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, θα απαιτηθεί μια συνεχής προσπάθεια από τις κυβερνήσεις και τη βιομηχανία για την βελτίωση της απόδοσης και τη διατήρηση (ή την απόκτηση) της σύμφωνης κοινής γνώμης. Η εναλλακτική λύση θα ήταν μια πολιτική και κοινωνική αντίδραση. Η έκθεση παρουσιάζει επτά βασικές γενικές αρχές ή «Χρυσούς Κανόνες», οι οποίοι έχουν ως στόχο να

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

καθοδηγήσουν τους υπεύθυνους για τη χάραξη πολιτικής, τις ρυθμιστικές αρχές και τη βιομηχανία για την ανάπτυξη ενός ισορροπημένου και αποτελεσματικού ρυθμιστικού καθεστώτος - πλαισίου για το μη συμβατικό φ.α.:

- Μέτρηση, γνωστοποίηση και συμμετοχή, οι οποίες συνεπάγονται την ουσιαστική και έγκαιρη εμπλοκή με τις τοπικές κοινότητες, τον καθορισμό των βασικών περιβαλλοντικών κατευθυντήριων γραμμών πριν από τη όρυξη της γεώτρησης και την γνωστοποίηση βασικών λειτουργικών δεδομένων, σχετικά με την χρήση νερού, την ποσότητα και τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων και την υδραυλική ρωγμάτωση.
- Προσεκτική επιλογή του χώρου που θα πραγματοποιηθεί η όρυξη της γεώτρησης, έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη η τοπική κοινότητα και η οικολογία, καθώς και βασικοί γεωλογικοί και υδρολογικοί παράγοντες, όπως η ύπαρξη ρηγμάτων ή υδάτινων πόρων και αποθεμάτων.
- Απομόνωση γεωτρήσεων και αποφυγή διαρροών, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ακεραιότητα της γεώτρησης και να αποτρέπονται επιφανειακές διαρροές.
- Σωστή και υπεύθυνη διαχείριση του νερού, έτσι ώστε να μειώνεται η χρήση του γλυκού νερού και να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην επεξεργασία, την αποθήκευση και τη διάθεση των λυμάτων.
- Εξάλειψη διαφυγών (venting) και ελαχιστοποίηση της καύσης (flaring) φυσικού αερίου και άλλων εκπομπών
- Εξέταση των σωρευτικών και περιφερειακών επιπτώσεων των πολλαπλών γεωτρήσεων, των δραστηριοτήτων παραγωγής και διανομής στο περιβάλλον, ιδίως όσον αφορά τη χρήση και διάθεση του νερού.
- Εξασφάλιση σταθερά υψηλού επιπέδου περιβαλλοντικών επιδόσεων, με κατάλληλες ρυθμιστικές αρχές, ενθάρρυνση της ρύθμισης με βάση την απόδοση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο. Διεθνής αγορά φυσικού αερίου

6.1. Εισαγωγή

Το φ.α. είναι το μοναδικό ορυκτό καύσιμο, του οποίου το μερίδιο στο πρωτογενές ενεργειακό ισοζύγιο αναμένεται να αυξηθεί. Ωστόσο, η λεγόμενη «Χρυσή Εποχή του Φυσικού Αερίου (Golden Age of Gas)» που είχε προβλεφθεί το 2012 δεν είναι πλέον ορατή καθώς απέτυχε να απογειωθεί λόγω της βραδύτερης αύξησης της ζήτησης έναντι του αναμενόμενου. Ενώ το 2013 η ζήτηση σε φ.α. αυξήθηκε, η αύξηση αφορούσε σε υγροποιημένο φ.α. (LNG) προκειμένου να καλυφθούν οι νέες ανάγκες της αγοράς λόγω της ιαπωνικής πυρηνικής κρίσης. Το 2016 οικονομικοί, γεωπολιτικοί και πολιτικοί περιορισμοί επιβράδυναν την αύξηση της ζήτησης φ.α. στην Ασία και οδήγησαν σε μείωση της ζήτησης στην Ευρώπη. Από την άλλη πλευρά, οι προμηθευτές στην Αυστραλία, τη Μέση Ανατολή, την Αφρική και τη Βόρεια Αμερική, οι οποίοι προβλέπουν αύξηση της ζήτησης στην Ασία, ρίχνουν στην αγορά πολλές νέες ποσότητες.

Το φ.α. έχει τη δυνατότητα να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη μετάβαση του κόσμου σε ένα καθαρότερο, οικονομικότερο και ασφαλέστερο ενεργειακό μέλλον. Στις αναπτυσσόμενες περιοχές, όπως η υποσαχάρια Αφρική και η Ινδία, το φ.α. μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ηλεκτροδότηση των αναπτυσσόμενων κοινοτήτων.

Η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, η οποία ηγείται από τις Η.Π.Α. και εν μέρει από τον Καναδά, σημείωσε εντυπωσιακή άνοδο κατά 28% /έτος και ως εκ τούτου ωθεί προς τα πάνω την παγκόσμια παραγωγή φ.α. (κατά μέσο όρο 2,2% /έτος κατά την περίοδο 2000-2015). Αυτό έχει οδηγήσει σε νέα διαμόρφωση του συστήματος προμήθειας φ.α. σε παγκόσμιο επίπεδο: το σχιστολιθικό αέριο αντιπροσωπεύει σήμερα το 13% της παγκόσμιας παραγωγής φ.α., έναντι μόλις 0,5% το 2000. Σήμερα, μόνο οι ΗΠΑ, και ο Καναδάς πραγματοποιούν σημαντική εμπορική παραγωγή σχιστολιθικού φ.α., με τα αντίστοιχα μερίδια στη παγκόσμια παραγωγή σχιστολιθικού αερίου να διαμορφώνονται σε 87% και 13% το 2015, αντίστοιχα.

Η εμπορική ανάπτυξη του σχιστολιθικού φ.α., η οποία απογειώθηκε στις ΗΠΑ κατά το διάστημα 2005-2007 και από το 2008 και στον Καναδά, κορυφώθηκε με τη συνδυασμένη εφαρμογή των τεχνικών της οριζόντιας γεώτρησης και της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε πολλά στάδια. Στις ΗΠΑ, ο αριθμός των οριζόντιων γεωτρήσεων αυξήθηκε από περίπου 9% των συνολικών γεωτρήσεων που είχαν ορυχθεί στις αρχές της δεκαετίας του 1990, σε

περισσότερο από 50% το 2010. Η επέκταση της παραγωγής φ.α. συνοδεύτηκε από την πτώση του μοναδιαίου κόστους παραγωγής, καθιστώντας ανταγωνιστικό το σχιστολιθικό αέριο έναντι του συμβατικού φ.α. (Mistré, Hafner, &Crénes, 2017).

Η παγκόσμια αγορά φ.α. υφίσταται ριζική μεταμόρφωση, η οποία οδηγείται από τις νέες προμήθειες που προέρχονται από τις Ηνωμένες Πολιτείες για την αντιμετώπιση της αυξανόμενης ζήτησης από τις αναπτυσσόμενες οικονομίες. Η ζήτηση από τον τομέα της βιομηχανίας ξεπερνά την αντίστοιχη του τομέα της ενέργειας και αποτελεί τη βασική πηγή αύξησης της ζήτησης σε φ.α.

Η παγκόσμια ζήτηση φ.α. αναμένεται να αυξηθεί κατά 1,6% ετησίως για τα επόμενα πέντε χρόνια, ενώ η κατανάλωση θα φθάσει τα 4.000 Bcm το 2022, από 3.630 Bcm το 2016. Η Κίνα θα απορροφήσει το 40% αυτής της αύξησης. Η ζήτηση από τον βιομηχανικό τομέα γίνεται η κινητήριος δύναμη για την αύξηση της κατανάλωσης φ.α., αντικαθιστώντας την παραγωγή ενέργειας, όπου το φ.α. περιορίζεται από την αυξανόμενη ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τον ανταγωνισμό από τον άνθρακα.

Οι ΗΠΑ - ο μεγαλύτερος καταναλωτής και παραγωγός φ.α. παγκοσμίως - θα αντιπροσωπεύουν το 40% της παγκόσμιας παραγωγής φ.α. έως το 2022 λόγω της αξιοσημείωτης ανάπτυξης της βιομηχανίας του σχιστολιθικού αερίου. Μέχρι το 2022, η παραγωγή των ΗΠΑ θα έχει φτάσει σε 890 Bcm, αντιπροσωπεύοντας περισσότερο από το ένα πέμπτο της παγκόσμιας παραγωγής φ.α. Η παραγωγή από τον σχιστολιθικό σχηματισμό Marcellus, ένα από τα μεγαλύτερα πεδία φ.α. στον κόσμο, θα αυξηθεί κατά 45% μεταξύ της περιόδου 2016 και 2022, ακόμη και στα τρέχοντα χαμηλά επίπεδα τιμών.

Ενώ η εγχώρια ζήτηση φ.α. στις Η.Π.Α. αυξάνεται, εξαιτίας της υψηλότερης κατανάλωσης από τον βιομηχανικό τομέα, περισσότερο από το ήμισυ της αύξησης της παραγωγής θα είναι υδροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) το οποίο προορίζεται για εξαγωγή. Μέχρι το 2022, η IEA (International Energy Agency) εκτιμά ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες θα έχουν την δυνατότητα να διεκδικήσουν από την Αυστραλία και το Κατάρ την παγκόσμια ηγεσία μεταξύ των εξαγωγέων LNG. Το LNG των ΗΠΑ θα αποτελέσει καταλύτη για την αλλαγή στη διεθνή αγορά φ.α., διαφοροποιώντας την προσφορά, προκαλώντας παραδοσιακά επιχειρηματικά μοντέλα και προμηθευτές και μετασχηματίζοντας την παγκόσμια ασφάλεια φ.α.

Ταυτόχρονα, αυτή η άφθονη διαθεσιμότητα LNG δημιουργεί, επίσης, νέο ανταγωνισμό με τις προμήθειες φ.α. οι οποίες θα μπορούσαν να ωφελήσουν τους καταναλωτές. Αυτός ο

έντονος ανταγωνισμός θα επιφέρει χαλάρωση των τιμών και των συμβατικών δυσκαμψιών (loosening pricing and contractual rigidities) που παραδοσιακά χαρακτηρίζουν το εμπόριο φ.α. σε μεγάλες αποστάσεις. Η αλλαγή θα επιταχυνθεί με την επέκταση των εξαγωγών των ΗΠΑ, οι οποίες θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση της ρευστότητας και της ευελιξίας του εμπορίου LNG.

Η Ευρώπη θα μπορούσε να δει τον αυξανόμενο ανταγωνισμό μεταξύ των εισαγωγών LNG και φ.α. μέσω αγωγών (pipeline natural gas) καθώς η ευρωπαϊκή παραγωγή μειώνεται, δημιουργώντας πρόσθετη αβεβαιότητα σχετικά με τις πηγές μελλοντικής προσφοράς. Η πρόσφατη αντιπαράθεση (stand off) μεταξύ του Κατάρ, το οποίο προμηθεύει περίπου το ένα τρίτο του παγκόσμιου LNG, και των γειτονικών χώρων του, έχει επίσης αναδείξει πιθανούς κινδύνους για την ασφάλεια εφοδιασμού με φ.α. (IEA , 2017).

Οι παραγωγοί σχιστολιθικού φ.α. στις ΗΠΑ θα ήθελαν να ξεκινήσουν τις εξαγωγές υδροποιημένου σχιστολιθικού φ.α. (LSG), παρόλο που η βιομηχανία των ΗΠΑ αντιτίθεται σ' αυτό το εγχείρημα. Ωστόσο, αναμένεται ότι η συστηματική εξαγωγή μπορεί να ξεκινήσει ακόμα και τα επόμενα χρόνια. Η χρήση του σχιστολιθικού αερίου προβλέπεται να αυξηθεί κατά 400 εκατομμύρια τόνους ετησίως (~5600 TWh/έτος) τουλάχιστον μέχρι το 2020. Το LNG από το σχιστολιθικό αέριο ή το συμβατικό φ.α. είναι μια σημαντική επιλογή για την Ευρώπη για την εξασφάλιση επαρκούς διαθεσιμότητας ενέργειας. Όσον αφορά την Ιαπωνία, το LNG μπορεί να καταστεί ακόμα πιο κρίσιμο ζήτημα, καθώς η ζήτηση για φ.α. αυξήθηκε με ταχείς ρυθμούς μετά το ατύχημα της Φουκουσίμα, όταν τα εργοστάσια παραγωγής πυρηνικής ενέργειας έκλεισαν. Επιπλέον, η Κίνα επιδιώκει να αντικαταστήσει τον άνθρακα με περισσότερο φιλικό προς το περιβάλλον φ.α. (Heiskanen&Wang, 2015).

Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται η ανάλυση των παραγόντων, υπό τους οποίους το σχιστολιθικό αέριο ανταγωνίζεται έναντι του συμβατικού φ.α. και τέλος πραγματοποιείται η αποτύπωση της διεθνούς αγοράς φ.α. και πως αυτή διαμορφώνεται τα προσεχή έτη με την συμβολή του σχιστολιθικού αερίου.

6.2. Κόστος παραγωγής σχιστολιθικού αερίου

6.2.1. Οικονομικό υπόβαθρο

Ως αποτέλεσμα των χαμηλών τιμών του πετρελαίου, η ανάπτυξη της χερσαίας (onshore) πετρελαϊκής δραστηριότητας στις ΗΠΑ είχε σχεδόν σταματήσει μέχρι το έτος 2000. Εντούτοις, οι σχετικά καλύτερες τιμές του φ.α. ενθάρρυναν την όρυξη κατακόρυφων

γεωτρήσεων σε σχηματισμούς συμβατικού φ.α. και κάποια μικρή παραγωγή μεθανίου από στρώματα γαιάνθρακα (CBM). Η «άνθηση του σχιστολιθικού αερίου (*shale boom*)» πυροδοτήθηκε από την απογείωση της παραγωγής του από τον σχηματισμό Barnett το 2004, χρησιμοποιώντας τις τεχνικές της οριζόντιας γεώτρησης και της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Οι εν λόγω τεχνικές εξελίχθηκαν καθώς εξαπλώνονταν και σε άλλους σχιστολιθικούς σχηματισμούς όπως ο Haynesville στη Βόρεια Λουϊζιάνα, ο Fayetteville στο βόρειο Αρκάνσας και ο Marcellus στην Πενσυλβάνια και τη Δυτική Βιρτζίνια. Η αύξηση των τιμών του φ.α. από το 2001 έως το 2008 συνέβαλε επίσης σε αυτή την εξέλιξη.

Ενώ οι τιμές του φ.α. κατέρρευσαν το 2008, οι τιμές του πετρελαίου, οι οποίες είχαν ξεκινήσει μια ανοδική τροχιά στις αρχές της δεκαετίας, υποχώρησαν επίσης. Ωστόσο, σε αντίθεση με το φ.α., οι τιμές του πετρελαίου ανέκαμψαν γρήγορα, οδηγώντας τους φορείς εκμετάλλευσης να αναζητήσουν νέους σχηματισμούς πετρελαίου και φ.α.. Νέοι σχιστολιθικοί σχηματισμοί, όπως ο Eagle Ford και ο Bakken, έγιναν κερδοφόροι με τη διάνοιξη οριζόντιων γεωτρήσεων και την υδραυλική ρωγμάτωση.

Μετά την έναρξη της εκμετάλλευσης των μη συμβατικών σχηματισμών, η όρυξη και η ολοκλήρωση των γεωτρήσεων συνέχισαν να εξελίσσονται τεχνολογικά, με το αντίστοιχο κόστος να αυξάνεται ανάλογα. Για παράδειγμα, οι μικρού μήκους πλευρικές γεωτρήσεις (*short lateral lengths*) αυξήθηκαν σημαντικά, από μόλις 1000 έως 2000 ft σε περίπου 10.000 ft σε ορισμένους σχιστολιθικούς σχηματισμούς (*shale plays*). Η χρήση προσθέτων συγκράτησης ανοιχτών ρωγμών και η ένταση της υδραυλικής ρωγμάτωσης έχουν επίσης αυξηθεί, με αποτέλεσμα σημαντική βελτίωση στην απόδοση των γεωτρήσεων. Αυτή η εξέλιξη έχει οδηγήσει, όμως, και σε σημαντικά υψηλότερο κόστος ανά γεώτρηση (κατά μέσο όρο > 6 εκατομμύρια δολάρια (MM \$) ανά γεώτρηση). Ωστόσο, τα κέρδη από τη βελτίωση της παραγωγικότητας αντισταθμίζουν αυτό το κόστος, με αποτέλεσμα χαμηλότερο μοναδιαίο κόστος ανά βαρέλι ισοδύναμου πετρελαίου (Boe) και καλύτερες αποδόσεις στις επενδύσεις (EIA, 2016).

Το κατά πόσο επικερδής μπορεί, τελικά, να αποβεί η ανάπτυξη του μη συμβατικού φ.α. εξαρτάται τόσο από τις τιμές του εξοπλισμού και των υπηρεσιών όρυξης και ολοκλήρωσης των γεωτρήσεων, όσο και από το κόστος παραγωγής και την παραγωγικότητα των γεωτρήσεων. Οι τιμές του εξοπλισμού, το κόστος παραγωγής και η παραγωγικότητα των νέων γεωτρήσεων έχουν σημειώσει σημαντικές αλλαγές την τελευταία δεκαετία.

Όσον αφορά το κόστος παραγωγής των γεωτρήσεων, υπάρχει γενικά η αντίληψη ότι αυτό εξαρτάται άμεσα από την αποτελεσματικότητα της όρυξης (drilling) και της ολοκλήρωσης (completion). Για τη μείωση του παρατηρείται στροφή στην όρυξη γεωτρήσεων μεγαλύτερου βάθους με πιο σύνθετες ολοκληρώσεις, φαινόμενο που τείνει να αυξήσει τις τιμές του παραγόμενου πετρελαίου και φ.α., οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν τη γεωτρητική δραστηριότητα. Η ανάγκη για τη χρήση της τεχνολογίας των οριζόντιων γεωτρήσεων και της υδραυλικής ρωγμάτωσης, προκειμένου να καταστούν παραγωγικοί οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί που φέρουν φ.α., αυξάνουν κατακόρυφα το κόστος παραγωγής, σε σύγκριση με αυτό του συμβατικού φ.α.

Στις επόμενες ενότητες ακολουθεί ανάλυση του κόστους όρυξης γεωτρήσεων και παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α., την Ευρώπη και την Κίνα..

6.2.2. Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής

Τα ακόλουθα στοιχεία βασίζονται στην τελευταία έκθεση της EIA (Trends in U.S. Oil and Natural Gas Upstream Costs, 2016), η οποία λαμβάνει υπόψη της πέντε σχιστολιθικούς σχηματισμούς, στις Ηνωμένες Πολιτείες: Bakken, Eagle Ford, Marcellus και τους σχηματισμούς Midland και Delaware στην λεκάνη Permian, καθώς και την υπεράκτια δραστηριότητα στον Κόλπο του Μεξικού (Gulf of Mexico - GOM).

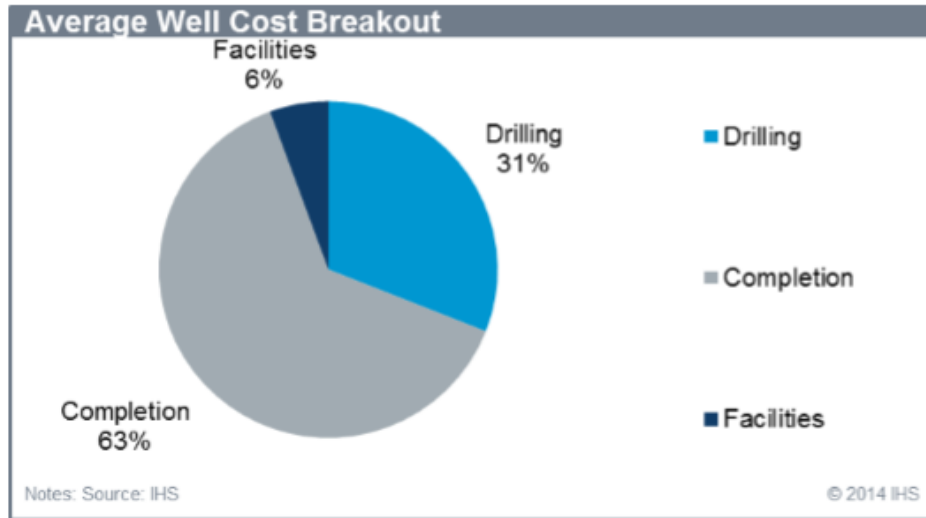
6.2.2.1. Κόστος χερσαίας παραγωγής σχιστολιθικού αερίου (onshore cost)

Στο κόστος της χερσαίας παραγωγής σχιστολιθικού αερίου περιλαμβάνονται τα ακόλουθα επιμέρους κόστη: το κεφαλαιοποιημένο κόστος όρυξης, ολοκλήρωσης και εξοπλισμού της γεώτρησης (capitalized drilling, completion, and facilities costs), το κόστος απόκτησης γης (land acquisition), τα λειτουργικά έξοδα μίσθωσης της παραχώρησης (lease operating expenses - LOE) και το κόστος συγκέντρωσης, επεξεργασίας και μεταφοράς (gathering, processing and transport costs). Οι δύο τελευταίες κατηγορίες κόστους συνιστούν το συνολικό λειτουργικό κόστος μιας εγκατάστασης (operating expenses - OPEX).

6.2.2.1.1. Κόστος όρυξης, ολοκλήρωσης και εξοπλισμού γεώτρησης

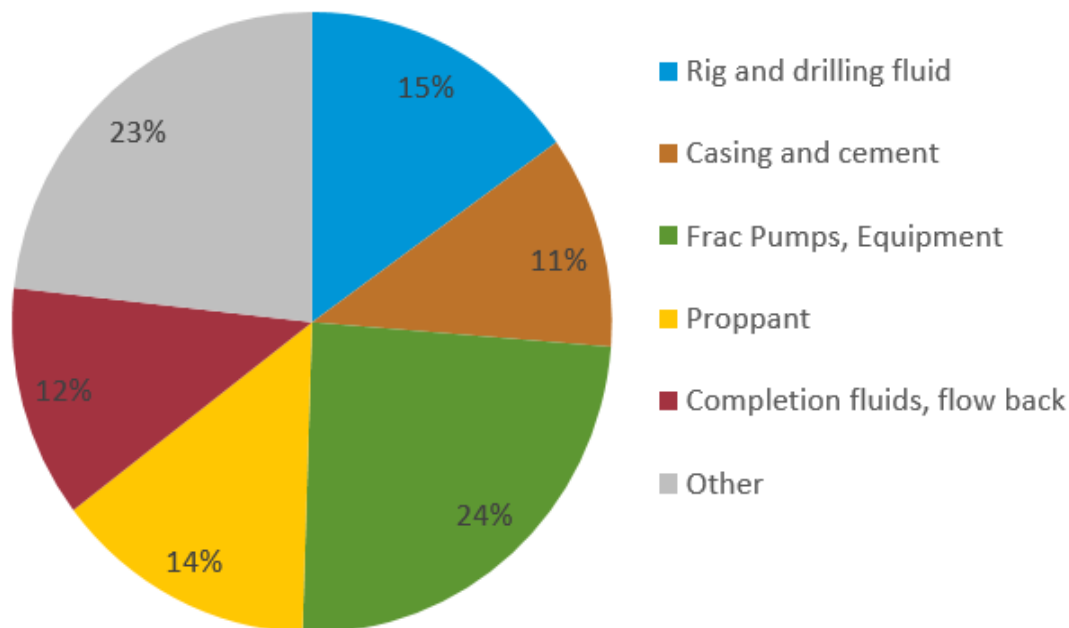
Οι συνολικές κεφαλαιουχικές δαπάνες (total capital costs - CAPEX) ανά χερσαία γεώτρηση κυμαίνονται από 4,9 εκατομμύρια έως 8,3 εκατομμύρια δολάρια (Εικόνα 6-1), συμπεριλαμβανομένου του μέσου κόστους ολοκλήρωσης της γεώτρησης που γενικά κυμαίνεται από 2,9 έως 5,6 εκατομμύρια δολάρια ανά γεώτρηση. Ωστόσο, πρέπει να

σημειωθεί ότι υπάρχει σημαντική μεταβλητότητα κόστους μεταξύ μεμονωμένων γεωτρήσεων.



Εικόνα 6-1: Κατανομή κόστους όρυξης και ολοκλήρωσης γεώτρησης (drilling and completion cost) χερσαίας γεώτρησης σχιστολιθικού αερίου (EIA, 2016).

Στην Εικόνα 6-2 απεικονίζονται οι 5 βασικές κατηγορίες κόστους, οι οποίες εν συνόλω αντιπροσωπεύουν περισσότερο από τα τρία τέταρτα του συνολικού κόστους για τη όρυξη και την ολοκλήρωση τυπικών χερσαίων γεωτρήσεων στις ΗΠΑ. Το κόστος **Rig and drilling fluids** (γεωτρυπάνου και ρευστών διάτρησης) αποτελεί το 15% του συνολικού κόστους και περιλαμβάνει τα έξοδα που αφορούν την εκμίσθωση και χρήση του γεωτρυπάνου και των υλικών για τη λάσπη διάτρησης. Το κόστος **Casing and cement** (σωλήνωσης και τσιμεντώσης) ανέρχεται συνολικά στο 11% του συνολικού κόστους και αφορά το κόστος της σωλήνωσης, των υλικών της τσιμεντώσης και τις σχετικές υπερβολές για την πραγματοποίηση των εργασιών αυτών. Το κόστος **Frac Pumps, Equipment** (υδραυλικής ρωγμάτωσης, αντλιών και εξοπλισμού) αποτελεί το 24% του συνολικού κόστους, συμπεριλαμβανομένου του κόστους εξοπλισμού που απαιτείται για την ειδική επεξεργασία. Το **Proppant** (προσθετικών) κόστος αντιπροσωπεύει κατά μέσο όρο το 14% του συνολικού κόστους και περιλαμβάνει τα πρόσθετα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την διέγερση του σχηματισμού. Το κόστος **Completion fluids, flow back** (ρευστών ολοκλήρωσης και επιστροφής) αποτελεί το 12% του συνολικού κόστους και περιλαμβάνει την προμήθεια και διάθεση του νερού και άλλων υλικών που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ρωγμάτωση.

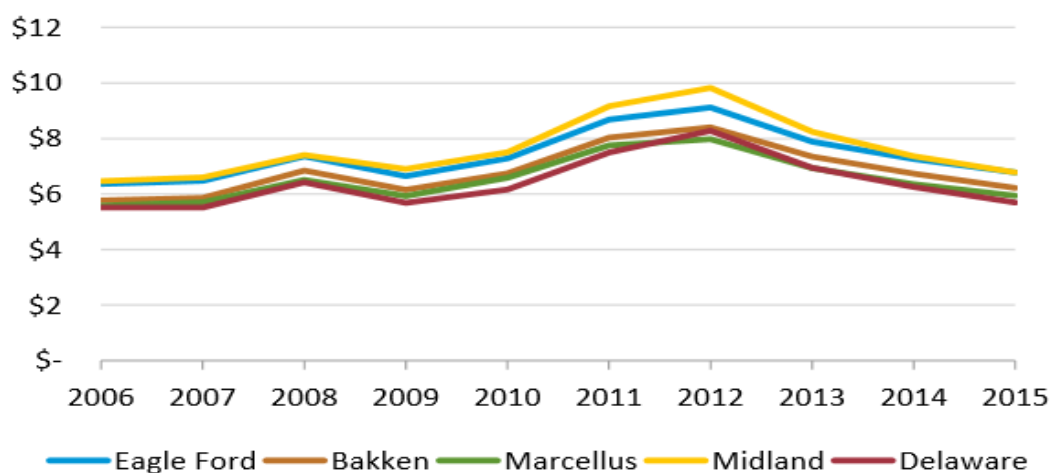


Εικόνα 6-2: Κατονομή του κόστους για την όρυξη και ολοκλήρωση χερσαίων γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ (ΕΙΑ, 2016).

Σύμφωνα με την εικόνα 6-2 παρατηρούμε ότι περίπου το 50% του κόστους προκαλείται από την υδραυλική ρωγμάτωση, τα πρόσθετα υλικά και τα ρευστά ολοκλήρωσης και το νερό επιστροφής. Το υπόλοιπο 50% αφορά εργασίες οι οποίες πραγματοποιούνται και στις γεωτρήσεις συμβατικού φ.α. Το εν λόγω γεγονός, συνεπάγεται ότι οι ως άνω διαδικασίες της γεώτρησης του σχιστολιθικού αερίου αυξάνουν το κόστος κατά 50% περισσότερο από το αντίστοιχο του συμβατικού φ.α.

Με την πάροδο του χρόνου, τα εν λόγω κόστη έχουν αλλάξει. Για παράδειγμα, οι δείκτες κόστους όρυξης και ολοκλήρωσης της γεώτρησης (**drilling and completion cost**), που παρουσιάζονται στην εικόνα 6-3, αυξήθηκαν αρχικά απότομα την περίοδο από το 2006 έως το 2012: μεταξύ 40 και 50% και στη συνέχεια μειώθηκαν κατά μέσο όρο από 10 έως 15% ετησίως, φθάνοντας τα 6 εκατομμύρια ανά γεώτρηση κατά μέσο όρο το 2015.

Cost by year for 2014 well parameters
\$ million per well



Εικόνα 6-3: Τα μέσα κόσθη όρυξης και ολοκλήρωσης της γεώτρησης για 5 onshore σχιστολιθικούς σχηματισμούς (EIA, 2016).

Ο κύριος λόγος για την αύξηση του κόστους όρυξης και ολοκλήρωσης της γεώτρησης ήταν η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των ορυσσόμενων γεωτρήσεων. Κατά την περίοδο 2006-2012, ο μέσος όρος κατακόρυφου και οριζόντιου μήκους των γεωτρήσεων στη βόρεια Αμερική αυξήθηκε κατά 50%, φθάνοντας σε περίπου 15,000 ft. Η συνολική ποσότητα προσθέτων (proppants) και άλλων ρευστών ολοκλήρωσης που χρησιμοποιήθηκαν, με την εντατικοποίηση του αριθμού των σταδίων της υδραυλικής ρωγμάτωσης, αυξήθηκε απότομα (περισσότερο από 10 φορές την ίδια περίοδο) αυξάνοντας έτσι το σχετικό κόστος ολοκλήρωσης (completion cost).

Το κόστος όρυξης (drilling cost) (για μια οριζόντια γεώτρηση) κυμαίνεται από 0,9 έως 1,3 εκατομμύρια δολάρια και αντιπροσωπεύει το 12% έως 19% του συνολικού κόστους της γεώτρησης. Το εν λόγω κόστος περιλαμβάνει κυρίως δαπάνες από την ενοικίαση του γεωτρύπανου, και για την προμήθεια των ρευστών διάτρησης. Το εν λόγω κόστος εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα της όρυξης, τα βάθη των γεωτρήσεων, τα ημερήσια ποσοστά του γεωτρύπανου, τη χρήση της λάσπης και τα καύσιμα ντήζελ. Πριν από την επέκταση της οριζόντιας γεώτρησης σε μη συμβατικούς σχηματισμούς, τα έξοδα όρυξης μιας γεώτρησης αποτελούσαν το 60% έως και 80% του συνολικού κόστους της γεώτρησης.

Το κόστος τσιμέντωσης και σωλήνωσης (casing and cement cost) κυμαίνεται από 0,6 έως 1,2 εκατομμύρια δολάρια και αντιπροσωπεύει το 9% έως 15% του συνολικού κόστους της γεώτρησης. Το κόστος περιλαμβάνει τις δαπάνες για την προμήθεια της σωλήνωσης, των liners και της τσιμέντωσης και εξαρτάται από τις τιμές του χάλυβα, τις διαστάσεις της

γεώτρησης, και από τους σχηματισμούς ή τις πιέσεις που επηρεάζουν τον αριθμό των στρώσεων του περιβλήματος (casing strings).

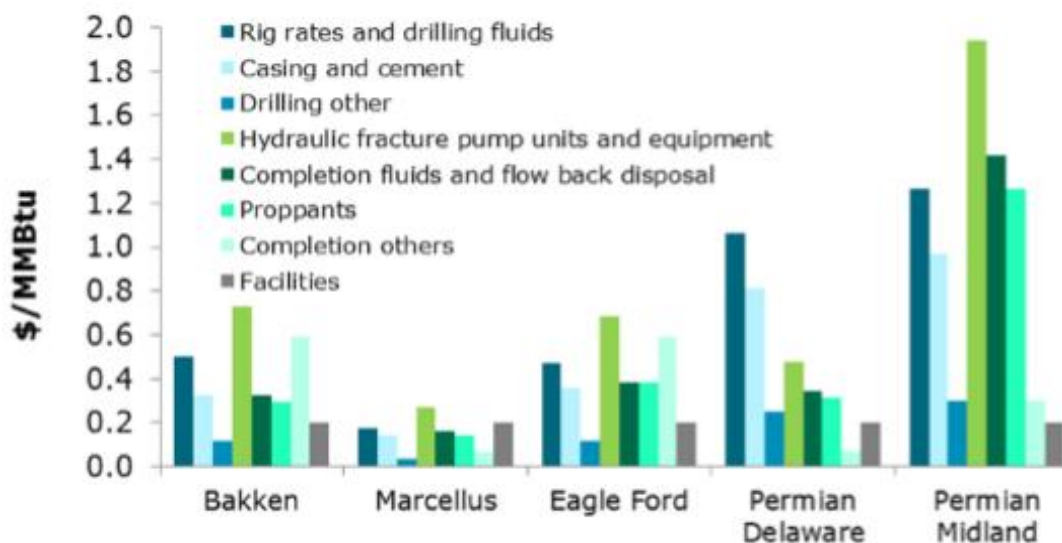
Το κόστος της υδραυλικής ρωγμάτωσης (frack pumping cost) κυμαίνεται από 1,0 έως 2,0 εκατομμύρια δολάρια και αντιπροσωπεύει το 14% έως 41% του συνολικού κόστους της γεώτρησης. Το εν λόγω κόστος παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα και εξαρτάται από τον αριθμό των σταδίων της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η πίεση με την οποία αντλείται το ρευστό (η οποία περιλαμβάνει συντελεστή ασφαλείας) πρέπει να είναι υψηλότερη από την πίεση σχηματισμού για τη θραύση του πετρώματος. Μεγαλύτερη πίεση αυξάνει το κόστος. Ο αριθμός των σταδίων, ο οποίος συχνά συσχετίζεται με το πλευρικό μήκος, είναι σημαντικός δεδομένου ότι αυτή η διαδικασία της ρωγμάτωσης, με τη σχετική ιπποδύναμη και το κόστος, πρέπει να επαναληφθεί για κάθε στάδιο.

Το κόστος ολοκλήρωσης (completion fluid cost) ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 0,3 έως 1,2 εκατομμύρια δολάρια ανά γεώτρηση και αντιπροσωπεύει το 5% έως 19% του συνολικού κόστους της γεώτρησης. Περιλαμβάνει τον εξοπλισμό της κεφαλής της γεώτρησης (wellhead) για την υδραυλική ρωγμάτωση, το κόστος των liners και των σωλήνων παραγωγής (liners and tubing), και άλλα πρόσθετα έξοδα (προμήθεια νερού και άντληση). Το κόστος των ρευστών ολοκλήρωσης εξαρτάται από την ποσότητα του νερού, τις χρησιμοποιούμενες χημικές ουσίες και τον τύπο του ρευστού της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Τα τελευταία χρόνια αυξήθηκε απότομα το κόστος ολοκλήρωσης καθώς οι χρησιμοποιούμενες τεχνικές καθίστανται πιο περίπλοκες λόγω του μεγαλύτερου μήκους των οριζόντιων γεωτρήσεων.

Το κόστος των πρόσθετων (propants cost) κυμαίνεται από 0,8 έως 1,8 εκατομμύρια δολάρια και αντιπροσωπεύει το 6% έως 25% του συνολικού κόστους της γεώτρησης.

Το κόστος των εγκαταστάσεων παραγωγής πετρελαίου και φ.α. (oil and natural gas field facilities) είναι της τάξης των εκατοντάδων χιλιάδων δολαρίων και αποτελεί μόνο το 2% έως 8% του κόστους της γεώτρησης. Συχνά, αρκετές γεωτρήσεις εξυπηρετούνται διαδοχικά από μια μονάδα (drilling unit) ή ορύσσονται σε ένα well pad, και ως εκ τούτου μοιράζονται τις ίδιες εγκαταστάσεις.

Η Εικόνα 6-4 παρουσιάζει μία κατανομή του κεφαλαιουχικού κόστους των γεωτρήσεων ανά σχιστολιθικό σχηματισμό.



Εικόνα 6-4: Κατανομή του κεφαλαιουχικού κόστους γεώτρησης ανά σχιστολιθικό σχηματισμό, το 2014 (EIA, 2016).

Το λειτουργικό κόστος (operating expenses) περιλαμβάνει:

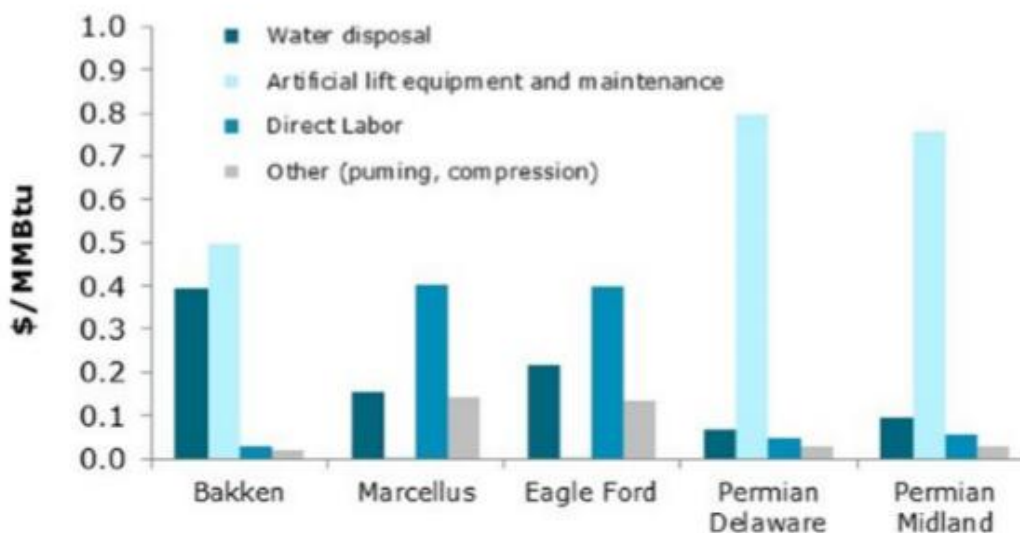
- *Το λειτουργικό κόστος μίσθωσης (lease operating expense - LOE)*: Προκύπτει καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός φρέατος και είναι συγκεκριμένο για κάθε σχιστολιθικό σχηματισμό λόγω της υψηλής μεταβλητότητάς του. Το εν λόγω κόστος κυμαίνεται μεταξύ 1,00 και 3,5 εκατομμυρίων δολαρίων για ένα 20ετή κύκλο ζωής της γεώτρησης, συμπεριλαμβανομένων των εξόδων διάθεσης του νερού επιστροφής.
- *Το κόστος συγκέντρωσης, επεξεργασίας και μεταφοράς (gathering, processing and transport)*: Περιλαμβάνει τα έξοδα που απαιτούνται για την παράδοση κάθε Mcf φ.α. ή βαρελιού πετρελαίου σε ένα σημείο πώλησης. Οι δαπάνες αυτές καθορίζονται κυρίως από συμβάσεις που συνάπτουν οι παραγωγοί με παρόχους σχετικών υπηρεσιών (third-party midstream providers) και μπορούν να μεταβληθούν σε μεγάλο βαθμό. *Το ξηρό αέριο (dry gas)*, το οποίο δεν απαιτεί επεξεργασία, έχει το χαμηλότερο κόστος, που ανέρχεται σε περίπου 0,35\$/Mcf για τη συγκέντρωση και τη μεταφορά σε ένα περιφερειακό σημείο πώλησης, με διαφορά στην τιμή Henry Hub που κυμαίνεται από 0,02\$ έως 1,40\$ ανά Mcf. *Το υγρό αέριο (wet gas)* περιλαμβάνει NGLs (natural gas liquids) που απαιτούν δαπάνες για επεξεργασία, διαχωρισμό και μεταφορά (processing, fractionation and transport). Το συνοδό φ.α. του πετρελαίου ταξινομείται γενικά ως υγρό αέριο και απαιτεί επίσης επεξεργασία. Οι δαπάνες συγκέντρωσης και επεξεργασίας συνήθως κυμαίνονται από \$0,65 έως \$1,30 ανά Mcf, οι δαπάνες διαχωρισμού κυμαίνονται από \$2,00 έως \$4,00 ανά bbl

ανακτούμενων NGLs και οι δαπάνες μεταφοράς των NGLs κυμαίνονται από \$2,20 έως \$9,78 ανά bbl.

Κόστος διάθεσης νερού επιστροφής (water disposal). Τα περισσότερα από τα έξοδα διάθεσης του νερού επιστροφής από τις εργασίες της υδραυλικής ρωγμάτωσης περιλαμβάνονται στο κεφαλαιουχικό κόστος. Μετά από 30-45 ημέρες (όταν απομακρυνθεί το μεγαλύτερο μέρος του νερού επιστροφής), αυτά τα έξοδα ταξινομούνται στη συνέχεια ως λειτουργικά και αφορούν στο νερό επιστροφής και το νερό από τον σχηματισμό. Το κόστος είναι πολύ μεταβλητό, καθώς σχετίζεται με την αναλογία ύδατος και υδρογονανθράκων και κυμαίνεται από \$ 1.00 έως \$ 8.00 ανά bbl νερού.

Το λειτουργικό κόστος μίσθωσης μπορεί να ανέλθει σε 1,0 έως 3,5 εκατομμύρια δολάρια, το οποίο για έναν 20ετή κύκλο ζωής της γεώτρησης, και ένα παρόμοιο ποσό μπορεί να προκύψει για το κόστος συλλογής, επεξεργασίας και μεταφοράς (gathering, processing, transport-GPT) κατά τη διάρκεια ζωής της γεώτρησης. Η θέση του σχηματισμού οι διαστάσεις της γεώτρησης, η ολοκλήρωση, και η υδραυλική ρωγμάτωση καθορίζουν το τελικό κόστος (ultimate cost) ανά γεώτρηση. Ο τύπος της γεώτρησης (πετρέλαιο/φ.α.), η τοποθεσία, η απόδοση και το μέγεθος της παραγωγής και ο χρόνος ζωής της γεώτρησης καθορίζουν το συνολικό λειτουργικό κόστος (total operating expense).

Η Εικόνα 6-5 παρουσιάζει μία κατανομή του λειτουργικού κόστους των γεωτρήσεων ανά σχιστολιθικό σχηματισμό.



Εικόνα 6-5: Κατανομή λειτουργικού κόστους γεώτρησης ανά σχιστολιθικό σχηματισμό, το 2014 (EIA, 2016).

6.2.2.2. Κόστος υπεράκτιας γεώτρησης σχιστολιθικού αερίου (offshore cost)

Σε αντίθεση με τις χερσαίες γεωτρήσεις μη συμβατικού φ.α., οι οποίες μπορεί να επιτύχουν μαζική ανάπτυξη της παραγωγής, κάθε θαλάσσια γεώτρηση έχει μοναδικό σχεδιασμό και προφίλ κόστους. Υπάρχουν λιγότερες από 100 τέτοιες γεωτρήσεις, συμπεριλαμβανομένων των γεωτρήσεων έρευνας και ανάπτυξης, σε ύδατα μεγάλου βάθους στον **Κόλπο του Μεξικού**. Αντίθετα, χερσαίες γεωτρήσεις σχιστολιθικού αερίου ορύσσονται κατά χιλιάδες σε ετήσια βάση. Παρόλο που ο αριθμός των δραστηριοτήτων είναι πολύ μικρότερος από ό,τι στην ξηρά, το ποσό του κεφαλαίου και του χρόνου που επενδύεται στον Κόλπο του Μεξικού είναι συγκρίσιμο με το αντίστοιχο χερσαίο (onshore).

Η όρυξη θαλάσσιων γεωτρήσεων και η παραγωγή φ.α. σε ύδατα μεγάλου βάθους συνεπάγεται μακροπρόθεσμα έργα πολλών δεσκατομμυρίων δολαρίων τα οποία απαιτούν αρκετά χρόνια για να ολοκληρωθούν και επηρεάζονται λιγότερο από τις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις των τιμών του πετρελαίου. Οι επιχειρήσεις με υπεράκτιες δραστηριότητες συχνά διαθέτουν μεγάλους προϋπολογισμούς έργων για πολλά χρόνια και τα περισσότερα έργα ολοκληρώνονται με την πρόβλεψη των υψηλότερων τιμών του πετρελαίου στο μέλλον. Οι δραστηριότητες των Ηνωμένων Πολιτειών στον Κόλπο του Μεξικού θα επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό από την αντίληψη των μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων τιμών του πετρελαίου και οι τυχόν μεταβολές στα επίπεδα δραστηριότητας αναμένεται να υστερούν σημαντικά από εκείνες των χερσαίων μη συμβατικών σχηματισμών.

Οι βασικοί σχηματισμοί (coreplays) στον Κόλπο του Μεξικού περιλαμβάνουν τους Plio/Pleistocene, Miocene, Miocenesub-salt, LowerTertiary, και Jurassic. Η μελλοντική ανάπτυξη της παραγωγής σε ύδατα μεγάλου βάθους στον Κόλπο του Μεξικού (deep-waterGOM) θα προέλθει κατά κύριο λόγο από τρεις σχηματισμούς: τον Miocenesub-salt, τον LowerTertiary, και τον Jurassic. Σύμφωνα με την αξιολόγηση της IHS, με εκτιμώμενες ημερομηνίες έναρξης μεταξύ 2015 και 2021, η πλειοψηφία των έργων έχουν εκτιμώμενη μελλοντική τιμή ανάπτυξης κάτω από 50\$/bbl. Ωστόσο, η αξιολόγηση του οικονομικών των εργασιών για τον πλήρη κύκλο ζωής των εργασιών, καταλήγει σε τιμές ισοσκελίσης κερδών και ζημιών (breakevenprices) που υπερβαίνουν τα \$60/bbl, γεγονός που θέτει σε κίνδυνο τα σχεδιαζόμενα έργα.

Το κόστος παραγωγής φ.α. από τα έργα στον Κόλπο του Μεξικού επιμερίζεται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Κόστος γεώτρησης (well drilling cost): Το κόστος όρυξης γεώτρησης σε ύδατα μεγάλου βάθους εξαρτάται και επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από το βάθος του νερού και το βάθος της γεώτρησης. Τεχνικά ζητήματα όπως τα περιβάλλοντα υψηλής θερμοκρασίας και υψηλής πίεσης (HTHP), αποτελούν προκλήσεις και μπορεί να αυξήσουν το κόστος.
- Κόστος ανάπτυξης πεδίου (field development cost): Το εν λόγω κόστος σχετίζεται με την εγκατάσταση του εξοπλισμού παραγωγής σε περιβάλλον υδάτων μεγάλου βάθους, όπως οι εγκαταστάσεις στην εξέδρα παραγωγής (production platform installations) και οι υποθαλάσσιες συνδέσεις (subseabed cables).
- Κόστος κατασκευής εξέδρας (platform construction cost): Η προμήθεια, η μεταφορά και η εγκατάσταση των απαραίτητων υποδομών αποτελούν βασικά στοιχεία τα οποία επηρεάζουν το κόστος κατασκευής μιας θαλάσσιας εξέδρας.
- Κόστος αγωγού μεταφοράς (pipeline layout cost): Περιλαμβάνει την εγκατάσταση εκατοντάδων μιλίων αγωγών σε ύδατα μεγάλου βάθους.

Σύμφωνα με προβλέψεις, κατά την περίοδο 2016-2020, αναμένεται μείωση του κόστους όρυξης γεωτρήσεων σε βαθιά ύδατα και των συναφών δραστηριοτήτων κατά 15%, ακολουθούμενη από οριακή μέση αύξηση κατά 3% ετησίως του συνολικού κόστους (overall deep-water cost).

6.2.2.3. Βασικές παράμετροι μείωσης του κόστους

Οι τεχνικές βελτιώσεις και τα τεχνολογικά επιτεύγματα αποτέλεσαν βασικό στοιχείο για τη μείωση του κόστους. Η όρυξη πολλαπλών γεωτρήσεων από την ίδια θέση γεωτρύπανου (multi-pad drilling), η οποία αντιπροσώπευε το 5% του συνολικού αριθμού γεωτρήσεων, οι οποίες ορύχθηκαν το 2006 μεταξύ των εννέα μεγαλύτερων σχιστολιθικών σχηματισμών στις ΗΠΑ, επεκτάθηκε γρήγορα και αντιστοιχούσε στο 60% περίπου των γεωτρήσεων που ορύχθηκαν το 2013. Η εν λόγω τεχνική επιτρέπει σημαντική μείωση του κόστους, καθώς αρκετές γεωτρήσεις μοιράζονται τις ίδιες εγκαταστάσεις έχοντας ως αποτέλεσμα το κόστος να κατανέμεται μεταξύ των γεωτρήσεων.

Η τεχνική της όρυξης πολλαπλών γεωτρήσεων από μια θέση (multi-pad drilling) επέφερε μείωση του κόστους κατά 30% το 2014 και έως και 20% το 2015. Παρόλο που το συνολικό κόστος των πρόσθετων για τη διατήρηση των ρωγματώσεων (proppants) ανά γεώτρηση έχει αυξηθεί, η συγκέντρωση των πρόσθετων και των ρευστών που χρησιμοποιούνται για την

υδραυλική ρωγμάτωση αυξάνεται, γεγονός που κάνει την απόδοση να αυξάνεται γρηγορότερα από το κόστος.

Η βιομηχανία σχιστολιθικού φ.α. στις ΗΠΑ επωφελείται επίσης από μια υποστηρικτική κεφαλαιαγορά (supportive capital market), παρέχοντας εύκολη πρόσβαση στη μετοχική και δανειακή χρηματοδότηση (equity and debt finance) για τους φορείς εκμετάλλευσης σχιστολιθικού αερίου, οι οποίοι παραδοσιακά είναι μικρότεροι από τους φορείς της βιομηχανίας συμβατικών καυσίμων. Αυτό είναι σημαντικό, καθώς η βιομηχανία σχιστολιθικού αερίου έχει διαφορετικό κύκλο εργασιών από τις συμβατικές δραστηριότητες, καθώς οι πόροι είναι περισσότερο διασκορπισμένοι (resources are more scattered).

Η πρόσφατη μείωση τόσο του κεφαλαιουχικού κόστους (CAPEX) όσο και του λειτουργικού κόστους οδήγησε σε σχετικά χαμηλό κόστος παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ, το οποίο, σύμφωνα με την EIA ανήλθε σε \$3,2/MMBtu έως \$3,6/MMBtu κατά μέσο όρο το 2014. Ωστόσο, το κόστος παραγωγής ποικίλει μεταξύ των σχιστολιθικών σχηματισμών: ο σχηματισμός Marcellus παρουσιάζει τη φθηνότερη παραγωγή με κόστος παραγωγής ανά γεώτρηση (wellhead production cost) < \$2.0/MMBtu, συγκριτικά με το αντίστοιχο κόστος στον σχηματισμό Permian Midland που φτάνει τα \$9,7/MMBtu.

Σύμφωνα με την EIA, το κόστος μειώθηκε περαιτέρω το 2015, με μια μέση μείωση κατά 20% για το κόστος όρυξης και ολοκλήρωσης της γεώτρησης. Η διακύμανση του λειτουργικού κόστους ήταν μικρότερη: τα λειτουργικά κόστη μίσθωσης μειώθηκαν κατά περίπου 5%. Η εξοικονόμηση ενέργειας επέτρεψε επίσης τη μείωση του κόστους. Ως αποτέλεσμα, το κόστος παραγωγής το 2015 μειώθηκε στο επίπεδο των \$2.8/MMBtu από \$3.6/MMBtu για τους πέντε προαναφερθέντες σχηματισμούς.

Όπως προαναφέρθηκε, οι τεχνικές βελτιώσεις αλλά και το επιχειρηματικό περιβάλλον επηρέασαν και θα μπορούσαν να επηρεάσουν περαιτέρω το κόστος παραγωγής του σχιστολιθικού φ.α. βραχυπρόθεσμα, ιδίως το κεφαλαιουχικό κόστος. Σύμφωνα με την EIA, το κόστος όρυξης και ολοκλήρωσης γεώτρησης των κυριότερων σχιστολιθικών σχηματισμών στις ΗΠΑ αναμένεται να ακολουθήσει ελαφρά ανοδική τάση από το 2016 (μεταξύ + 1% και + 5% /έτος έως το 2018), ακολουθώντας την σημαντική μείωση του κόστους το 2015 (Mistré, Hafner, &Crénes, 2017).

6.2.3. Ευρώπη

Η συμβουλευτική εταιρεία Pöyry σε συνεργασία με την Cambridge Econometrics (CE) δημοσίευσε μια έκθεση με τίτλο «*Μακροοικονομικές επιπτώσεις της ευρωπαϊκής παραγωγής Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου*

σχιστολιθικού φ.α. (*Macroeconomic Effects Of European Shale Gas Production, 2013*)». Η μελέτη ανέλυσε τρία πιθανά σενάρια παραγωγής σχιστολιθικού φ.α. (επίπεδα παραγωγής) στην ΕΕ: «No Shale» (καμία παραγωγή), «Some Shale» (μέτρια παραγωγή) και «Shale Boom» (μεγάλη παραγωγή). Το σενάριο "Some Shale" υποθέτει ότι το 15% των πόρων που υπάρχουν είναι τεχνικά ανακτήσιμοι, αλλά, λόγω ορισμένων περιβαλλοντικών, τεχνικών και πρακτικών περιορισμών που παραμένουν σε ισχύ, δεν μπορεί να παραχθεί όλο το σχιστολιθικό φ.α.. Το σενάριο "Shale Boom" είναι μια πιο αισιόδοξη πρόβλεψη της παραγωγής σχιστολιθικού φ.α., η οποία προϋποθέτει ότι το 20% των χρησιμοποιούμενων πόρων είναι τεχνικά ανακτήσιμοι και βασίζεται στην υπόθεση ότι μπορεί να επιτευχθεί ευρεία δημόσια και πολιτική στήριξη και ότι τυχόν εμπόδια έναντι της παραγωγής σχιστολιθικού φ.α. θα ελαχιστοποιηθούν.

Η μελέτη υποθέτει ότι μέχρι το 2020 το σχιστολιθικό φ.α. μπορεί να αναπτυχθεί στην Ε.Ε. και να είναι βιώσιμο με τιμή που κυμαίνεται από 5 έως και 13 USD/MMBtu., ανάλογα με τις συνθήκες εκμετάλλευσης. Περίπου το 60% της εν λόγω παραγωγής μπορεί να είναι βιώσιμη με τιμή μεταξύ 8 και 11 USD/MMBtu, ενώ ο σταθμισμένος μέσος όρος της οριακής τιμής (weighted average breakeven) για την Ε.Ε. το 2020 ανέρχεται σε 9.1 USD/MMBtu (Pöyry, 2013).

Το Ινστιτούτο Μελετών Ενέργειας της Οξφόρδης (Oxford Institute for Energy Studies - OIES) εκτιμά ότι το κόστος breakeven για την παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες θα μπορούσε να ανέλθει σε περίπου 7,5 έως 15,5 USD/MMBtu, ενώ το πανεπιστήμιο του Rice υποθέτει κόστος περίπου 6-7 USD/MMBtu, η ενεργειακή εταιρεία E.ON (Γερμανία) περίπου 6-10 USD/MMBtu και τέλος η Centrica (Ηνωμένο Βασίλειο) μεταξύ 7 και 10 USD/MMBtu (European Commission, 2012)(Florence, 2010).

Σύμφωνα με την ανάλυση του JRC, το κόστος το 2030 μπορεί να ανέλθει έως και 225 USD/Mcm (συμπεριλαμβανομένης της αύξησης κατά 10% λόγω της προστασίας του περιβάλλοντος) (European Commission, 2012).

Τόσο το OIES όσο και το JRC θεωρούν ότι η μείωση του κόστους έως και 50% είναι ρεαλιστική όσον αφορά το κόστος όρυξης και ολοκλήρωσης γεώτρησης σχιστολιθικού φ.α. στην ΕΕ σε μια χρονική περίοδο 5-10 ετών και αφορά σε εργασίες που αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό μέρος του συνολικού κόστους (full cycle cost) (αντιστοιχούν περίπου στο 30% του συνολικού κόστους). Ταυτόχρονα όμως, οι περισσότερες μελέτες αναγνωρίζουν

την απειλή της κλιμάκωσης του κόστους στην ΕΕ λόγω διαφόρων τεχνικών, περιβαλλοντικών και πρακτικών περιορισμών.

Η ICF, σε έκθεσή της το 2014 (Macroeconomic impacts of shale gas extraction in the EU), υποθέτει ότι το κεφαλαιουχικό κόστος για τις γεωτρήσεις σχιστολιθικού αερίου της ΕΕ να είναι κατά 50% υψηλότερο από ό,τι για τις γεωτρήσεις στις ΗΠΑ, με βάση τη διαφορά κόστους που παρατηρήθηκε μεταξύ του κεφαλαιουχικού κόστους στα Πολωνικά πιλοτικά προγράμματα (\$10 έως \$15 εκατομμύρια) και στις αντίστοιχες γεωτρήσεις των ΗΠΑ. Όσον αφορά το λειτουργικό κόστος, η ICF εκτιμά ότι αυτό θα είναι κατά 25% μεγαλύτερο για τις γεωτρήσεις της ΕΕ συγκριτικά με τις ΗΠΑ, με βάση την υπόθεση ότι ο εξοπλισμός και τα προϊόντα ή υπηρεσίες συντήρησης (δηλαδή 40-50% του λειτουργικού κόστους κατά μέσο όρο) είναι δύο φορές υψηλότερα στην Ευρώπη (Nagy, 2014).

Στον ακόλουθο Πίνακα 6-1 παρουσιάζεται σύνοψη του επιμέρους κόστους ανά τύπο εργασιών σε γεωτρήσεις σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη, σύμφωνα με την μελέτη του ICF. Το κόστος όρυξης της γεώτρησης ανά μέτρο θεωρείται ότι είναι σταθερό σε όλα τα Κράτη Μέλη (ΚΜ) για λόγους απλότητας. Όλες οι οριζόντιες γεωτρήσεις θεωρούνται ότι έχουν οριζόντιο μήκος 1,200 μέτρα και εφαρμόζονται σε αυτές 10 στάδια υδραυλικής ρωγμάτωσης (ICF, 2014).

Πίνακας 6-1: Βασικές παραδοχές κόστους γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη (Πηγή: (ICF, 2014).

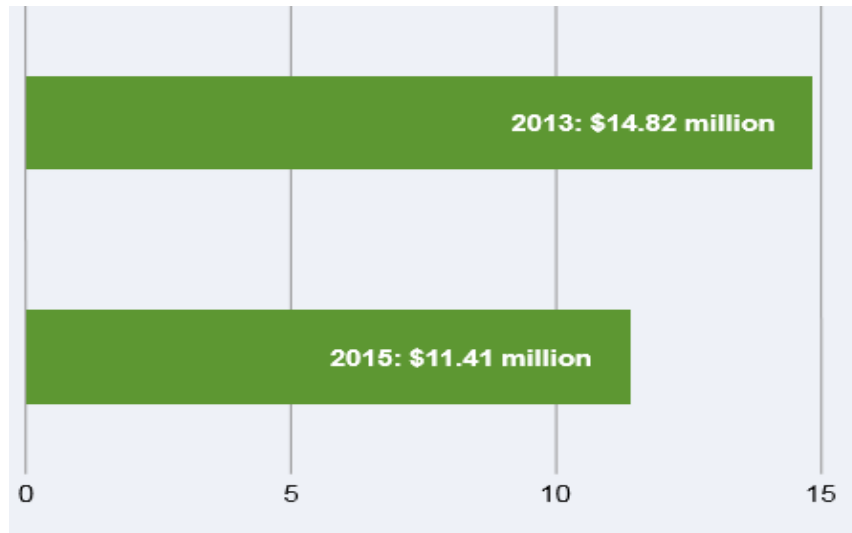
Cost Component	Estimated Cost
Drilling costs (excludes stimulation)	€952/ metre
Stimulation cost per frac stage	€144,600/ stage
Drilling and stimulation capital costs for a well drilled to 2,420 meters (8,000 feet) vertical depth with 1,200 meter (4,000 foot) lateral and 10 stages	€4,908,000/ well
Other (non-environmental risk mitigation related) capital costs (equipment, geology and geophysics, and lease cost)	€230,769/ well
Basic annual operating and maintenance cost per well	€38,500/ well/ year
Other (non-environmental risk mitigation related) operating and maintenance costs (gathering and compression, gas processing)	€9.50/ thousand cubic metre

6.2.4. Κίνα

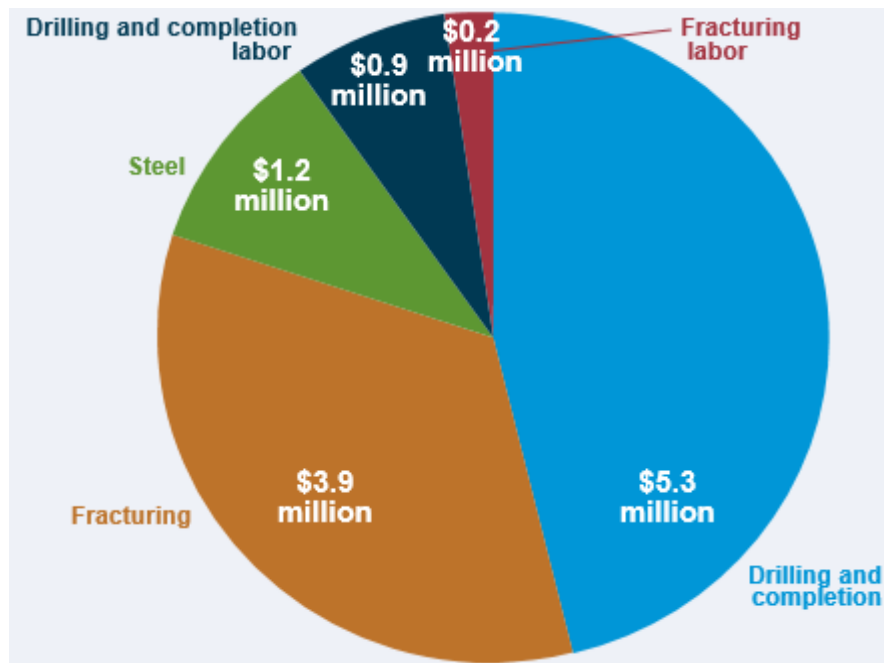
Καθώς η Κίνα εξακολουθεί να επενδύει στην εγχώρια παραγωγή πετρελαίου και φ.α. και καθώς το κόστος της όρυξης γεωτρήσεων φ.α. έχει μειωθεί (Εικόνες 6-6 και 6-7), η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου προχωράει. Παρόλο που η κινεζική αγορά ενέργειας βασίζεται όλο και περισσότερο στο εισαγόμενο φ.α., η μελλοντική παραγωγή σχιστολιθικού

φ.α. θα μπορούσε να συμβάλει στην κάλυψη της ζήτησης φ.α., ακόμη και όταν η χώρα αντιμετωπίζει δυσκολίες στην ανάπτυξη άλλων ειδών φ.α.,

Η Κίνα ξεκίνησε το 13ο πενταετές πρόγραμμά της που δημοσιεύτηκε το 2016 και έθεσε ως φιλόδοξο στόχο την παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. συνολικής αξίας 30 δισεκατομμυρίων δολαρίων μέχρι το 2020. Περισσότερες από 700 γεωτρήσεις σχιστολιθικού φ.α. έχουν ορυχθεί στην Κίνα τα τελευταία 4 χρόνια και η παραγωγή έχει φθάσει τα 0,38 Bcf/d.



Εικόνα 6-6: Κόστος όρυξηςμίας γεώτρησης σχιστολιθικού φυσικού αερίου στην Κίνα (λεκάνη Sichuan) το 2013 και το 2015 (σε million nominal U.S. dollars) (EIA, 2016).



Εικόνα 6-7: Στοιχεία κόστους ανάπτυξης σχιστολιθικού φυσικού αερίου στην Κίνα (λεκάνη Sichuan), το 2015 (σε million nominal U.S. dollars) (EIA, 2016).

Καθώς οι κινεζικές εταιρείες έχουν αποκτήσει εμπειρία στην παραγωγή σχιστολιθικού φ.α., το κόστος έχει σχετικά μειωθεί. Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Οικονομικής και Τεχνολογικής Έρευνας της Κινεζικής Εθνικής Εταιρείας Πετρελαίου (China National Petroleum Corporation Economics and Technology Research Institute), κατά μέσο όρο το κόστος όρυξης και ολοκλήρωσης των γεωτρήσεων σχιστολιθικού αερίου στους σχηματισμούς της λεκάνης Sichuan κυμαίνεται μεταξύ 10,4 και 11,7 εκατομμύρια δολάρια ανά γεώτρηση, το έτος 2015. Πρόκειται για μείωση κατά 23% σε σύγκριση με τα επίπεδα του αντίστοιχου κόστους το 2013. Οι κύριοι φορείς Sinopec και Petrochina ανέφεραν σημαντική μείωση του κόστους όρυξης κατά 9% και 30%, αντίστοιχα, το 2014. Η Sinopec μάλιστα στοχεύει σε περαιτέρω μείωση από 8,1 σε 9,7 εκατομμύρια δολάρια ανά γεώτρηση, δηλ. μείωση κατά 40%, έως το 2017.

Η Κίνα έχει, επίσης, επενδύσει στη συμμετοχή σε κοινοπραξίες για την ανάπτυξη των σχιστολιθικών σχηματισμών στις ΗΠΑ, με τη χρηματοοικονομική της συμμετοχή να αντιπροσωπεύει το 20% των συνολικών ξένων επενδύσεων στις ΗΠΑ. Η στρατηγική αυτή έχει προσφέρει στην Κίνα πολύτιμη τεχνογνωσία, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί στην εγχώρια παραγωγή της, βοηθώντας την να πετύχει χαμηλότερο κόστος ανάπτυξης (EIA, 2016).

6.3. Τιμές φυσικού αερίου

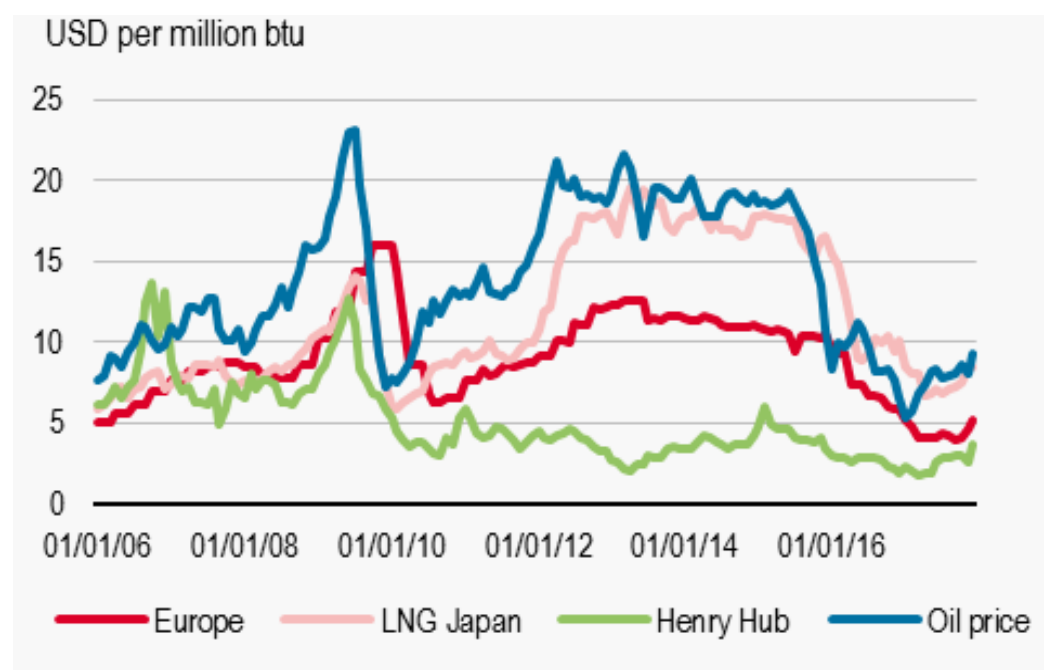
6.3.1. Αγορές φυσικού αερίου

Ιστορικά λειτουργούσαν τρεις σχετικά μεγάλες περιφερειακές αγορές φ.α.: στην Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη και την Ασία. Η διάρθρωση της αγοράς βασίστηκε στον περιφερειακό χαρακτήρα του εμπορίου μέσω αγωγών (pipeline trade), το οποίο καταλαμβάνει περισσότερο από το 90% του παγκόσμιου εμπορίου φ.α. (global natural gas trade). Στη Βόρεια Αμερική, οι τιμές του φ.α. καθορίζονται για κάθε κόμβο διακίνησης του φ.α. (hub) ως αποτέλεσμα της δυναμικής της προσφοράς και της ζήτησης, ενώ στην Ασία κυριαρχούν μακροχρόνιες συμβάσεις στην αγορά φ.α. που συχνά συνδέονται με την τιμή του πετρελαίου. Το εμπόριο φ.α. στην ηπειρωτική Ευρώπη επίσης επικεντρώνεται κατά κύριο λόγο στις μακροπρόθεσμες συμβάσεις με δείκτη πετρελαίου κατά το παρελθόν, αλλά όλο και περισσότερο τείνει προς τον καθορισμό τιμών μέσω του ανταγωνισμού gas to gas competition, ο οποίος αντιπροσωπεύει περίπου το ήμισυ του ευρωπαϊκού εμπορίου φ.α. σήμερα.

Όσον αφορά τις αγορές του φ.α. η ραγδαία ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου έχει ήδη προκαλέσει ένα σοβαρό αντίκτυπο: δημιούργησε υπερπροσφορά σε LNG και οδήγησε σε γενική πτώση τις τιμές του φ.α.

Η έκρηξη της προσφοράς φ.α. των ΗΠΑ έχει περαιτέρω διαλύσει την ιστορικά σταθερή σχέση μεταξύ της τιμής του πετρελαίου και του φ.α. στο κόμβο Henry Hub (στη Λουιζιάνα). Το πιο σημαντικό είναι ότι αύξησε την διαφορά των τιμών του φ.α. μεταξύ των ΗΠΑ, αφενός, και της Ευρώπης, της Ασίας και της Ιαπωνίας, αφετέρου, με αποτέλεσμα οι τιμές του φ.α. να διαρθρώνονται γεωγραφικά σε τρία επίπεδα (three-tier gas pricing structure). Στον κόμβο Henry Hub το φ.α. πωλείται στο ένα δεύτερο των ευρωπαϊκών τιμών και το ένα τρίτο των ιαπωνικών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6-8.

Μετά την σημαντική μείωση της τιμής του φ.α. το 2014 και το 2015, η τιμή του φαίνεται να έχει φθάσει σε σημείο καμπίς και στις τρεις περιφερειακές αγορές, με μια ελαφρά αύξηση τους τελευταίους δύο μήνες (Εικόνα 6-8). Η εν λόγω εξέλιξη στις τιμές του φ.α. σηματοδοτείται από την ανάκαμψη της τιμής του πετρελαίου και την αναζωογόνηση της ζήτησης στις ΗΠΑ. Ωστόσο, η τιμή του φ.α. στην Ευρώπη και την Ιαπωνία ήταν ακόμη χαμηλότερη το Δεκέμβριο του 2016 από ό, τι τον ίδιο μήνα του 2015.



Εικόνα 6-8: Η εξέλιξη των τιμών φυσικού αερίου μεταξύ των τριών περιφερειακών αγορών (Atradius Economic Research, 2017).

Οι τιμές του φ.α. εξακολουθούν να είναι πολύ χαμηλότερες από το επίπεδο της περιόδου 2011-2014, λόγω της άφθονης προσφοράς LNG, της επιβράδυνσης της αύξησης της

ζήτησης, των χαμηλών τιμών πετρελαίου και της άφθονης διαθεσιμότητας σχιστολιθικού αερίου στη Βόρεια Αμερική. Προς το παρόν, υπάρχουν λίγες ενδείξεις ότι η πτώση των τιμών στην Ευρώπη και την Ασία προκαλεί επιπρόσθετη ζήτηση. Στη Βόρειο Αμερική η αύξηση της εγχώριας κατανάλωσης και οι υψηλότερες εξαγωγές προκάλεσαν την άνοδο της τιμής του φ.α. στο Henry Hub τους τελευταίους μήνες.

Σύμφωνα με την εικόνα 6-8, παρατηρείται μία σύγκλιση των τιμών φ.α. μεταξύ των τριών περιφερειακών αγορών, η οποία συνεχίζεται και το 2016. Εν συνόλω για το έτος 2016, η μέση διαφορά μεταξύ της τιμής του φ.α. LNG στην Ιαπωνία και του φ.α. των ΗΠΑ ήταν μόλις \$5,1/MMBtu, σε σύγκριση με μια μέση διαφορά \$13,3 /MMBtu κατά την περίοδο 2011-2014. Η μείωση των διαφορών των περιφερειακών τιμών οφείλεται σε πολλές από τις τάσεις που περιγράφηκαν προηγουμένως: άφθονη προσφορά LNG, χαμηλές τιμές πετρελαίου και χαμηλή ζήτηση από την Ασία.

Καθώς όλο και περισσότερες εξαγωγές LNG από την Αυστραλία και τις ΗΠΑ «πέφτουν» στην παγκόσμια αγορά, οι τιμές του φ.α. καθορίζονται ολοένα και περισσότερο από την προσφορά και τη ζήτηση του καυσίμου (Gas on Gas Competition - GOG), παρά από τρίτους παράγοντες όπως οι τιμές του πετρελαίου (Oil Price Escalation - OPE), ενώ υπάρχει πιθανότητα σύγκλισης των τιμών φ.α. στην Ασία, την Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Επιπλέον, η εξαγωγή LNG από τις ΗΠΑ θα χρησιμεύσει ως «βαλβίδα εκτόνωσης» για τη συσσώρευση της προσφοράς, η οποία έχει δεσμεύσει τις τιμές φ.α. σε χαμηλά επίπεδα στη Βόρεια Αμερική από το 2008.

6.3.1.1. Βόρειος Αμερική

Η Βόρεια Αμερική χαρακτηρίζεται από μεγάλη δυναμικότητα παραγωγής φ.α., με σχετικά χαμηλό κόστος. Η αύξηση της παραγωγής επιταχύνθηκε από τα μέσα της δεκαετίας του 2000, όταν άρχισε η επανάσταση του σχιστολιθικού αερίου. Οι ΗΠΑ είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός φ.α., με παραγωγή 768 Bcm το 2015. Σχεδόν το ήμισυ της αμερικανικής παραγωγής φ.α. είναι υπό τη μορφή σχιστολιθικού αερίου. Με την άνοδο της παραγωγής μη συμβατικού φ.α., ο ρυθμός αύξησης της προσφοράς ξεπέρασε την αύξηση της ζήτησης από το 2008, με αποτέλεσμα το πλεόνασμα της περιφερειακής προσφοράς και την κατάρρευση των τιμών. Δεδομένου ότι μέχρι στιγμής έχει παραχθεί περίπου το 10% του εκτιμώμενου ανακτήσιμου σχιστολιθικού φ.α., το σχιστολιθικό αέριο θα συνεχίσει να κυριαρχεί στην αμερικανική παραγωγή και την παγκόσμια παραγωγή μη συμβατικού φ.α.

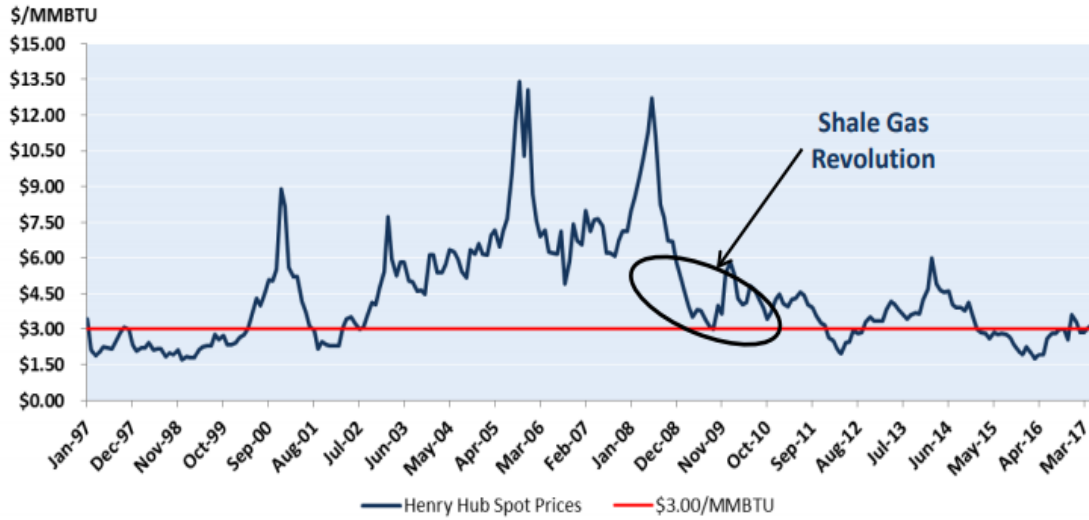
Στις ΗΠΑ το σχιστολιθικό αέριο έχει, μέχρι στιγμής, αποδειχθεί ανθεκτικό στο σημερινό περιβάλλον χαμηλών τιμών, λόγω της μείωσης του κόστους όρυξης γεώτρησης και του λειτουργικού κόστους, καθώς και της βελτίωσης της απόδοσης των γεωτρήσεων. Ωστόσο, οι χαμηλές τιμές του φ.α. αναμένεται να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στη γεωτρητική δραστηριότητα και στην ολοκλήρωση των γεωτρήσεων στις ΗΠΑ. Επιπλέον, η διαθεσιμότητα σχετικά φθηνού φ.α. στις ΗΠΑ περιορίζει τα κίνητρα για παραγωγή στον Καναδά και το Μεξικό.

Στη Βόρεια Αμερική, η τιμή αναφοράς είναι αυτή του Henry Hub, ενός κόμβου διανομής στο αμερικανικό σύστημα αγωγών στη Λουϊζιάνα, όπου η τιμή καθορίζεται εξ ολοκλήρου από τον ανταγωνισμό gas-to-gas competition, δηλαδή είναι μια τιμή που ισορροπεί την προσφορά και τη ζήτηση σε περιφερειακό επίπεδο (συμπεριλαμβανομένης της ζήτησης φ.α. προς εξαγωγή). Η τιμή του φ.α. που καταβάλλεται από τους καταναλωτές της Βόρειας Αμερικής υπολογίζεται βάσει μιας σειράς διαφορών από την τιμή Henry Hub, οι οποίες αντανακλούν το κόστος μεταφοράς και διανομής και άλλα τέλη και επιβαρύνσεις. Η τιμή του φ.α. που εξάγεται από τη Βόρεια Αμερική ως υγροποιημένο φ.α. (LNG) αντικατοπτρίζει το πρόσθετο κόστος της υγροποίησης, της διακίνησης σε δεξαμενόπλοια LNG και της επαναεριοποίησης στο τερματικό σταθμό εισαγωγής. Οι τιμές φ.α. των ΗΠΑ αναφέρονται στον δείκτη Henry Hub και οι τιμές spot αναφέρονται σε USD /MMBtu (million British thermal units).

Από την επανάσταση του σχιστολιθικού αερίου, η οποία ξεκίνησε την περίοδο 2008-2009, οι τιμές έχουν μειωθεί κατακόρυφα, αλλάζοντας το τοπίο παραγωγής ενέργειας στις ΗΠΑ. Η αυξημένη προσφορά φ.α. οδήγησε σε σημαντική πτώση των εγχώριων τιμών φ.α. στις ΗΠΑ. Την τελευταία δεκαετία, η τιμή του φ.α. έχει μειωθεί περισσότερο από 80%, ξεκινώντας περίπου από την τιμή των 12\$/MMBtu το 2006, και φτάνοντας στην τιμή των 2,49\$/MMBtu το 2016. Η κατακόρυφη πτώση των τιμών του φ.α. έχει επαναληφθεί και στο παρελθόν, από τα επίπεδα των 12 \$/MMBtu το 2008 έως τα χαμηλότερα επίπεδα κάτω από τα 2\$/MMBtu το 2012. Σημειωτέον, η δραματική πτώση των τιμών του φ.α. οφείλεται στην οικονομική κρίση του 2008, η οποία οδήγησε στην περαιτέρω μείωση των τιμών και διατήρησε τις τιμές του φ.α. κάτω από 3\$/MMBtu (Εικόνα 6-8), καθώς και στην υπερπροσφορά του φ.α. σε συνδυασμό με την χαμηλή ζήτηση.

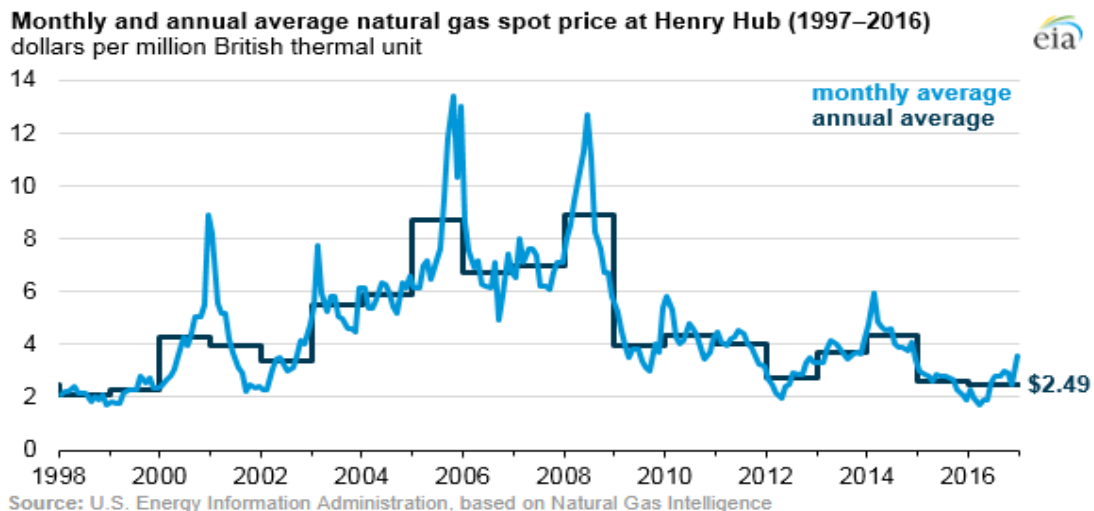
Στην Εικόνα 6-9 παρουσιάζεται η εξέλιξη των τιμών Henry Hub spot από το 1997 έως και το 2017. Αν εξαιρεθούν τα δύο “peaks” (2006 και 2008), όπου η τιμή spot ξεπέρασε τα

\$10/MMBtu, η τιμή του φ.α. έχει σημειώσει σοβαρή μείωση τα τελευταία δέκα χρόνια, παρόλες τις αρκετές διακυμάνσεις της.



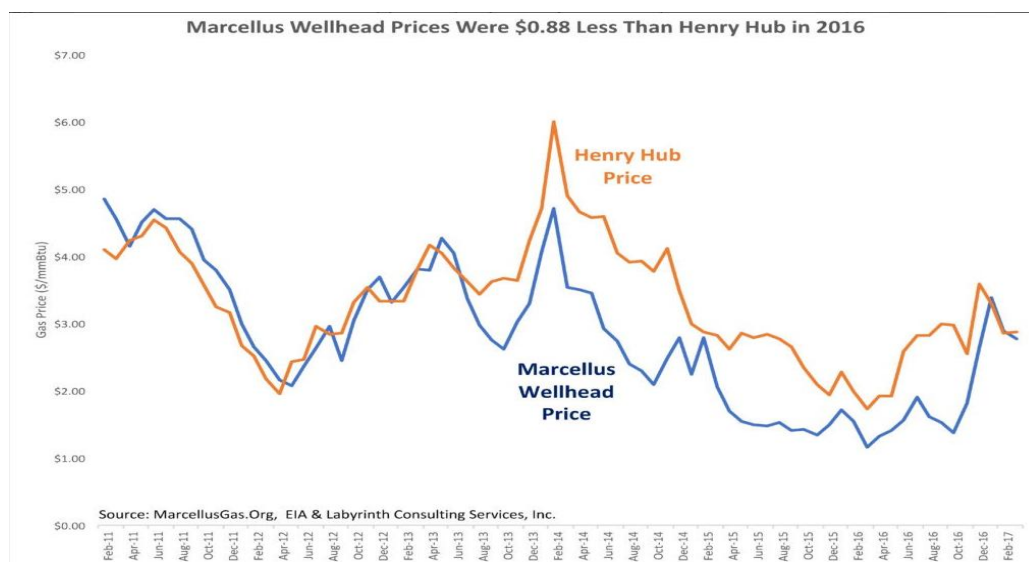
Εικόνα 6-9: Μηνιαία εξέλιξη των τιμών φυσικού αερίου στο HenryHub (spot prices) (EIA Energy Conference, 2017).

Η τιμή spot του φ.α. (natural gas spot price) το 2016 ανήλθε κατά μέσο όρο στην τιμή των \$2.49/MMBtu, στον εθνικό δείκτη αναφοράς Henry Hub, και η οποία αποτελεί την χαμηλότερη μέση ετήσια τιμή από το έτος 1999. Η μηνιαία μέση τιμή υποχώρησε κάτω από τα \$2,00 /MMBtu από το Φεβρουάριο μέχρι τον Μάιο, αλλά αργότερα αυξήθηκε, φτάνοντας το μέσο όρο των \$3,58 / MMBtu τον Δεκέμβριο (Εικόνα 6-10).



Εικόνα 6-10: Μηνιαία και ετήσια μέση τιμή spot φυσικού αερίου στο HenryHub κατά την περίοδο 1997-2016. (Πηγή: (EIA, USEnergyInformationAdministration, 2017).

Επιπρόσθετα, η υπερπαραγωγή και αντίστοιχα η υπερπροσφορά φ.α. από τους σχιστολιθικούς σχηματισμούς Marcellus και Utica, λόγω της επέκτασης της δυναμικότητας του δικτύου αγωγών φ.α. (και ειδικότερα του αγωγού River Pipeline) βορειοανατολικά των ΗΠΑ, διαμόρφωσε τις τιμές στην κεφαλή της γεώτρησης (wellhead prices), το 2016, σε περίπου 0,88 \$/MMBtu κατά μέσο όρο χαμηλότερες από τις τιμές του Henry Hub (Εικόνα 6-11)(Berman, 2017).



Εικόνα 6-11: Οι τιμές wellhead του Marcellus ήταν \$0.88 per mmmBtu χαμηλότερες από τις τιμές του Henry Hub το 2016 (Berman, 2017).

Η παραγωγή φ.α. στις ΗΠΑ αναμένεται να αυξηθεί με ετήσιο ρυθμό 2,2% μεταξύ των ετών 2015 και 2021. Μετά την πτώση της παραγωγής το 2016, αναμένεται να αυξηθεί έντονα κατά το υπόλοιπο διάστημα έως το 2021. Η αύξηση της προσφοράς θα μετατρέψει τις ΗΠΑ από καθαρό εισαγωγέα σε καθαρό εξαγωγέα φ.α. τα προσεχή έτη. Η χώρα αυξάνει γρήγορα την εξαγωγική της ικανότητα σε LNG και οι χαμηλές τιμές φ.α. των τελευταίων δύο ετών έχουν ωθήσει την ανάπτυξη δικτύου αγωγών στο Μεξικό.

Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Short-Term Energy Outlook τον Ιανουάριο του 2017, η EIA αναμένει οι τιμές του φ.α. (natural gas spot prices) να αυξηθούν τα επόμενα δύο χρόνια, σε μέσο όρο \$3,55/MMBtu το 2017 και \$3,73/MMBtu το 2018, η οποίες είναι υψηλότερες από την μέση ετήσια τιμή φ.α. το 2016. Οι υψηλότερες τιμές το 2017 και το 2018 αντικατοπτρίζουν την αύξηση της κατανάλωσης φ.α. και των εξαγωγών που υπερβαίνουν την προσφορά και τις εισαγωγές, οδηγώντας σε χαμηλότερα μέσα επίπεδα αποθεμάτων (lower average inventory levels) (EIA, 2017).

6.3.1.2. Ευρώπη

Η ζήτηση φ.α. στην ευρωπαϊκή αγορά καλύπτεται τόσο από ενδοπεριφερειακές προμήθειες (intra-regional supplies) (~ 40%) όσο και από σημαντικές εισαγωγές φ.α. (pipeline gas) μέσω αγωγών και LNG (~ 60%) (Petrovich, 2013). Η Ευρώπη ήταν ο κορυφαίος διαπεριφερειακός εισαγωγέας φ.α. παγκοσμίως το 2014, εισάγοντας 236 Bcm από άλλες περιοχές. Περισσότερο από το 60% του συνόλου του εισαγόμενου φ.α. προήλθε από τη Ρωσία μέσω αγωγών και το 73% των εισαγωγών LNG προήλθε από την Αλγερία και το Κατάρ. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει προωθήσει τη διαφοροποίηση της ευρωπαϊκής βάσης εφοδιασμού με φ.α. προκειμένου να βελτιωθεί η περιφερειακή ενεργειακή ασφάλεια, ωστόσο η συγκέντρωση των ρωσικών εισαγωγών ως μερίδιο των συνολικών εισαγωγών αυξήθηκε τα τελευταία χρόνια, ακόμη και όταν οι ρωσικές εισαγωγές εν συνόλω έχουν μειωθεί. Οι φθηνές προμήθειες LNG από τις ΗΠΑ και την Αυστραλία, μπορούν να προσφέρουν μια ευκαιρία διαφοροποίησης της ευρωπαϊκής βάσης εφοδιασμού φ.α. (Shiryayevskaya, 2015).

Η ευρωπαϊκή αγορά φ.α. χαρακτηρίζεται από ισχυρή σχέση μεταξύ της τιμής του φ.α. και της τιμής του πετρελαίου. Παρά τη σημαντική πτώση της τιμής του φ.α. το 2015, οι προοπτικές αύξησης της παραγωγής και της κατανάλωσης στην Ευρώπη μειώνονται λόγω της χαμηλής οικονομικής ανάπτυξης, του ανταγωνισμού από τον άνθρακα στον τομέα της ενέργειας και των μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης στον οικιακό και εμπορικό τομέα. Η Ρωσία αποτελεί τον μεγαλύτερο παραγωγό φ.α. στην Ευρώπη, ο οποίος λειτουργεί ως «shock absorber» στο παγκόσμιο σύστημα φ.α., υπό την έννοια ότι το πλεόνασμα LNG το οποίο δεν πηγαίνει στην Ασία καταλήγει στην Ευρώπη, με τη Ρωσία να καλύπτει την έλλειψη προσφοράς.

Δεδομένης της μείωσης της κατανάλωσης στην εγχώρια αγορά και στη Δυτική Ευρώπη, η Ρωσία έχει μειώσει την παραγωγή φ.α. τα τελευταία δύο χρόνια. Με τη χαμηλότερη εγχώρια κατανάλωση, η χώρα είναι αποφασισμένη να αυξήσει τη ζήτηση σε άλλες αγορές κατασκευάζοντας αγωγούς στην Κίνα. Επιπλέον, το LNG παρέχει την ευκαιρία πώλησης φ.α. σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η παραγωγή φ.α. στη Ρωσία αναμένεται να αυξηθεί κατά 0,5% ετησίως μεταξύ της περιόδου 2015 και 2021, με την αύξηση να κορυφώνεται προς το τέλος της περιόδου πρόβλεψης, όταν μέσω των εγκαταστάσεων Yamal LNG και του αγωγού Power of Siberia το ρωσικό φ.α. θα μεταφέρεται ευκολότερα σε περισσότερες περιοχές.

Η κατανάλωση φ.α. αναμένεται να αυξηθεί μετρίως κατά τη διάρκεια της περιόδου πρόβλεψης (έως και το 2021). Το αυξανόμενο χάσμα μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, σημαίνει ότι η Δυτική Ευρώπη θα πρέπει να εισάγει περισσότερο φ.α., γεγονός το οποίο μπορεί να επιτευχθεί μέσω εισαγωγών από αγωγούς από τη Ρωσία ή εισαγωγών LNG. Από γεωπολιτική άποψη, ωστόσο, υπάρχει κίνητρο για τη μείωση της εξάρτησης από τη Ρωσία μέσω της διαφοροποίησης της τροφοδοσίας μέσω αγωγών και της αύξησης των εισαγωγών LNG. Σημειωτέον, η εισαγωγή LNG έγινε επίσης ελκυστικότερη λόγω της μείωσης των τιμών LNG. Συνεπώς, ο καθορισμός των τιμών φ.α. βάσει της τιμής του πετρελαίου που προτιμάται από τη Ρωσία αναμένεται να μετριαστεί και η συνεχώς αυξανόμενη προσφορά και ζήτηση θα καθορίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό την τιμή του φ.α. στην Ευρώπη (Atradius Economic Research, 2017).

6.3.1.3. Ασία

Η ζήτηση για φ.α. στην Ασία αυξήθηκε ταχύτερα από την προσφορά τις τελευταίες δεκαετίες. Η Ασία παραδίδει σήμερα το 15% του παγκόσμιου εφοδιασμού με φ.α., ενώ αντιπροσωπεύει το 20% της παγκόσμιας κατανάλωσης. Το κενό καλύπτεται με εισαγωγές LNG. Μετά από δεκαετίες ισχυρής ανάπτυξης, η ζήτηση φ.α. έχει «παγώσει» τα τελευταία χρόνια. Στην Κίνα, η οποία αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή φ.α. στην Ασία, η ζήτηση φ.α. αυξήθηκε μόνο κατά 4% το 2015, ποσοστό χαμηλότερο σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Στην Ινδία, η ζήτηση φ.α. εξακολουθεί να είναι χαμηλότερη από το «peak» που σημείωσε το 2010, λόγω της μείωσης της εγχώριας παραγωγής και του σχετικά δαπανηρού εισαγόμενου LNG. Η Ιαπωνία είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος καταναλωτής φ.α. στην Ασία, αλλά, σε αντίθεση με την Κίνα, εξαρτάται πλήρως από τις εισαγωγές LNG. Η ζήτηση φ.α. στην Ιαπωνία μειώθηκε τα τελευταία χρόνια, καθώς οι υψηλές τιμές του LNG οδήγησαν τη χώρα πίσω στην παραγωγή πυρηνικής ενέργειας.

Η ζήτηση φ.α. στην Ασία αναμένεται να αυξηθεί με ετήσιο ρυθμό 3,9% κατά την περίοδο 2015 και 2021. Η κατανάλωση φ.α. στην Κίνα αναμένεται να αυξηθεί κατά 9,1% ετησίως κατά την ίδια περίοδο. Η σχετικά υψηλή οικονομική ανάπτυξη, η ανάγκη οικιακής θέρμανσης και οι συνεχιζόμενες προσπάθειες διαφοροποίησης από τον άνθρακα στηρίζουν τη ζήτηση φ.α. Στην Ινδία, η ζήτηση προβλέπεται να αυξηθεί με μέσο ρυθμό 5,6% έως το 2021. Η ζήτηση ενισχύεται από τις χαμηλές τιμές LNG και τις ενισχύσεις που παρέχει η κυβέρνηση για τη χρήση φ.α. στον τομέα της ενέργειας. Η Ιαπωνία, από την άλλη πλευρά, αναμένεται να παρουσιάσει περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης λόγω της επιστροφής της

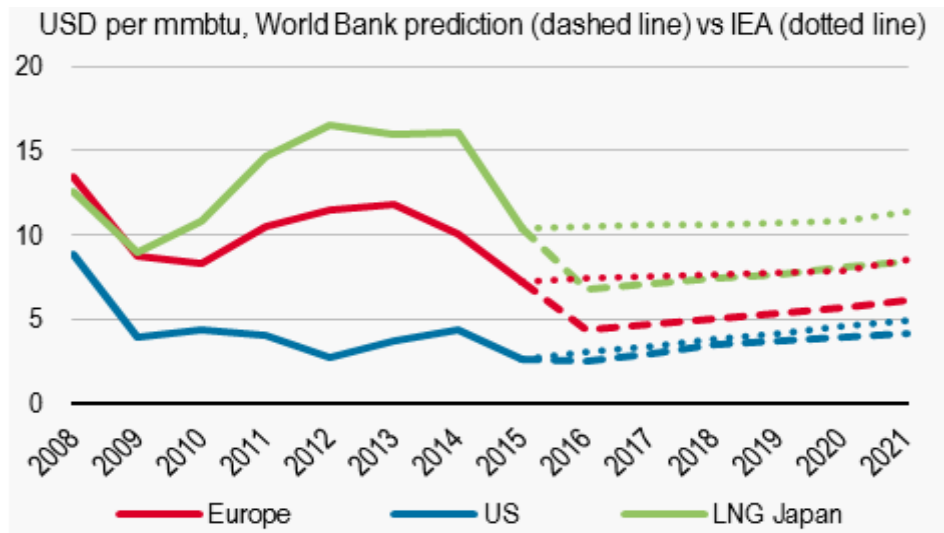
στην ισχύ της πυρηνικής ενέργειας, της στροφής της σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τέλος των μέτρων υποστήριξης της ενεργειακής απόδοσης.

Η Ασία αύξησε ταχέως την παραγωγή φ.α., ενώ η περιφερειακή παραγωγή σχεδόν διπλασιάστηκε μεταξύ 2000 και 2015. Η Κίνα είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός στην Ασία, ακολουθούμενη από την Ινδονησία, τη Μαλαισία και την Αυστραλία. Η αύξηση της παραγωγής στην Κίνα αναμένεται να αυξηθεί με ετήσιο μέσο ρυθμό 5% μεταξύ 2015 και 2021. Το μη συμβατικό φ.α., το οποίο σήμερα ανέρχεται στο 25% της συνολικής παραγωγής φ.α. στην Κίνα, πρόκειται να αυξηθεί για να διατηρήσει τις εισαγωγές σε μέτρια κλίμακα. Οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι η Κίνα διαθέτει τεράστια αποθέματα μη συμβατικού φ.α., κυρίως με τη μορφή σχιστολιθικού αερίου, αλλά το σημερινό περιβάλλον χαμηλών τιμών δεν ενθαρρύνει την ανάπτυξή του. Στην Αυστραλία αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά η παραγωγή φ.α. έως το 2021, η οποία οδηγείται σχεδόν αποκλειστικά από την εκκίνηση μεγάλου όγκου έργων LNG (Atradius Economic Research, 2017).

6.3.2. Παγκόσμιες προβλέψεις τιμών φυσικού αερίου

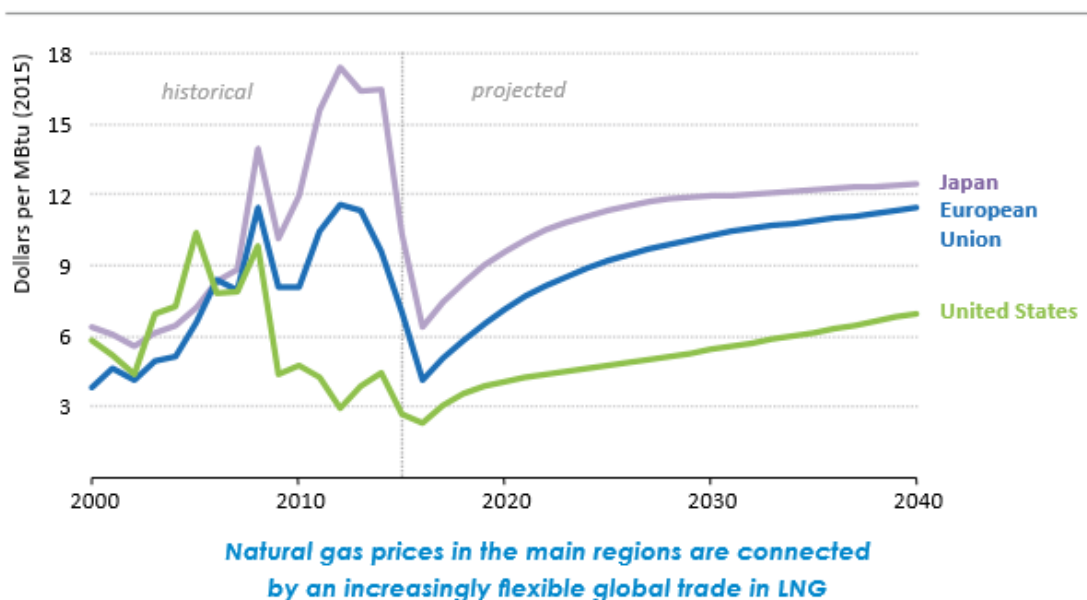
Μέχρι το 2020, η προσφορά σε LNG αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται λόγω του μεγάλου αριθμού των έργων εξαγωγής φ.α., τα οποία πρόκειται να τεθούν σε ισχύ (comingonstream) από τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Αυστραλία. Αυτό διατηρεί την τιμή του φ.α. χαμηλή, ενώ συμπιέζονται παράλληλα και οι διαφορές μεταξύ των περιφερειακών τιμών φ.α. Από την πλευρά της ζήτησης, η παγκόσμια κατανάλωση φ.α. αναμένεται να αυξηθεί και στις τρεις αγορές, ενώ η Κίνα είναι πιθανό να επιστρέψει ως βασική κινητήρια δύναμη της αύξησης της ζήτησης.

Η τιμή του φ.α. φαίνεται να έχει φθάσει στα χαμηλότερα επίπεδα (bottomed out) και στις τρεις μεγάλες αγορές - ΗΠΑ, Ευρώπη και Ιαπωνία - και πλέον αναμένεται να αυξηθεί μέχρι το 2021 (Εικόνα 6-12). Αυτό οφείλεται στη σταδιακή αύξηση της τιμής του πετρελαίου, βάσει της οποίας συνάπτονται συχνά οι συμβάσεις φ.α. και στην αυξανόμενη ζήτηση για φ.α., η οποία θα απορροφήσει σταδιακά την τρέχουσα υπερπροσφορά. Η πρόβλεψη είναι ότι η περιφερειακή σύγκλιση των τιμών θα συνεχιστεί μέχρι το 2018. Μετά το 2018, η τιμή του φ.α. στις ΗΠΑ θα αυξηθεί με βραδύτερο ρυθμό από ό,τι στην Ευρώπη και την Ιαπωνία. Η διαφορά στις τιμές του φ.α. μεταξύ ΗΠΑ και Ιαπωνίας ανήλθε σε 11,6 USD το 2014. Το 2018, η διαφορά των τιμών προβλέπεται να είναι 3,9 USD και να αυξηθεί στα 5 USD το 2021 (Atradius Economic Research, 2017).



Εικόνα 6-12: Προβλέψεις για τις παγκόσμιες τιμές του φυσικού αερίου ((TheWorldBank, 2016)

Σύμφωνα με το σενάριο «New Policies Scenario» του World Energy Outlook 2015, η τιμή του φ.α. αυξάνεται μακροπρόθεσμα (Εικόνα 6-13 και Πίνακας 6-2) προκειμένου να εξισορροπηθεί η αγορά - αν και η έκταση αυτής της αύξησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πορεία της ζήτησης (τοπική και εξαγωγική) καθώς και από το μέγεθος των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ. Στο «Current Policies Scenario», προβλέπεται η πορεία των τιμών φ.α. να παρουσιάζει ακόμα μεγαλύτερη αύξηση, φτάνοντας το 2040 στις ΗΠΑ τα \$8/MMBtu, εν αντιθέσει με το «450 Scenario», όπου η τιμή του φ.α. βαίνει μεν αυξανόμενη, αλλά με μικρότερο βαθμό.



Notes: US price is a wholesale price; other prices are average import prices.

Εικόνα 6-13: Τιμές φυσικού αερίου ανά περιοχή, βάσει του σεναρίου NewPoliciesScenario (IEA, World Energy Outlook, 2015).

Πίνακας 6-2: Τιμές αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου ανά σενάριο (IEA, World Energy Outlook, 2015).

Real terms (\$2015)	2015	New Policies Scenario			Current Policies Scenario			450 Scenario		
		2020	2030	2040	2020	2030	2040	2020	2030	2040
IEA crude oil (\$/barrel)	51	79	111	124	82	127	146	73	85	78
Natural gas (\$/MBtu)										
United States	2.6	4.1	5.4	6.9	4.3	5.9	7.9	3.9	4.8	5.4
European Union	7.0	7.1	10.3	11.5	7.3	11.1	13.0	6.9	9.4	9.9
China	9.7	9.2	11.6	12.1	9.5	12.5	13.9	8.6	10.4	10.5
Japan	10.3	9.6	11.9	12.4	9.9	13.0	14.4	9.0	10.8	10.9

Η τρέχουσα περίοδος υπερπροσφοράς στις αγορές φ.α., παράλληλα με το χαμηλό επίπεδο των τιμών του πετρελαίου, μείωσε τις τιμές σε όλες τις μεγάλες αγορές. Στο «New Policies Scenario», η παγκόσμια αγορά LNG δεν εξισορροπείται μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 2020, γεγονός που συγκρατεί (περιορίζει) τις κερδοφόρες ευκαιρίες εξαγωγής. Ωστόσο, ο αυξημένος ανταγωνισμός, σε συνδυασμό με την ανάδειξη των Ηνωμένων Πολιτειών σε σημαντικό εξαγωγέα LNG, δημιουργεί ένα ευνοϊκό πλαίσιο για τη μετακίνηση σε πιο ευέλικτες ρυθμίσεις των τιμών και του εμπορίου (flexible pricing and trading arrangements). Τα μεγάλα αποθέματα στις ΗΠΑ και η ευελιξία στην παραγωγή, σε συνδυασμό με τη βιομηχανία εξαγωγών LNG, επιδιώκουν ενεργά τις ευκαιρίες arbitrage (εξισορροπητικής κερδοσκοπίας), το οποίο σημαίνει ότι το Henry Hub προβλέπεται να γίνει σημείο αναφοράς όχι μόνο σε περιφερειακό αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο, διαμορφώνοντας στρατηγικές επενδύσεων και εμπορίας σε άλλες χώρες και περιοχές εξαγωγών.

Ως εκ τούτου, μακροπρόθεσμα, η ευρωπαϊκή τιμή εισαγωγής (import price) διαμορφώνεται σε περίπου \$4-5/MMBtu πάνω από την τιμή των ΗΠΑ (σε όλα τα σενάρια), μια διαφορά που αντικατοπτρίζει το κόστος παράδοσης του φ.α. στους τερματικούς σταθμούς εξαγωγής, την υγροποίηση, τη μεταφορά με πλοία και στη συνέχεια την επαναεριοποίηση στη χώρα εισαγωγής.

Στην Ασία, η τιμή εισαγωγής αυξάνεται ταχύτερα λόγω της τιμολόγησης που συνδέεται με το πετρέλαιο (oil-linked pricing) στην περιοχή αυτή, αλλά καθώς ο δεσμός αυτός αποδυναμώνεται οι διαφορές από την τιμή των ΗΠΑ μειώνονται σε περίπου \$5-6/MMBtu (IEA, WorldEnergyOutlook , 2016).

6.4. Μελλοντικές Εκτιμήσεις

Στην Εικόνα 6-15 παρουσιάζεται η παγκόσμια προσφορά και ζήτηση φ.α. για το έτος 2014 και πως θα διαμορφωθεί μελλοντικά το έτος 2040, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του ΙΕΑ.

6.4.1. Παραγωγή

6.4.1.1. Συμβατικό φυσικό αέριο

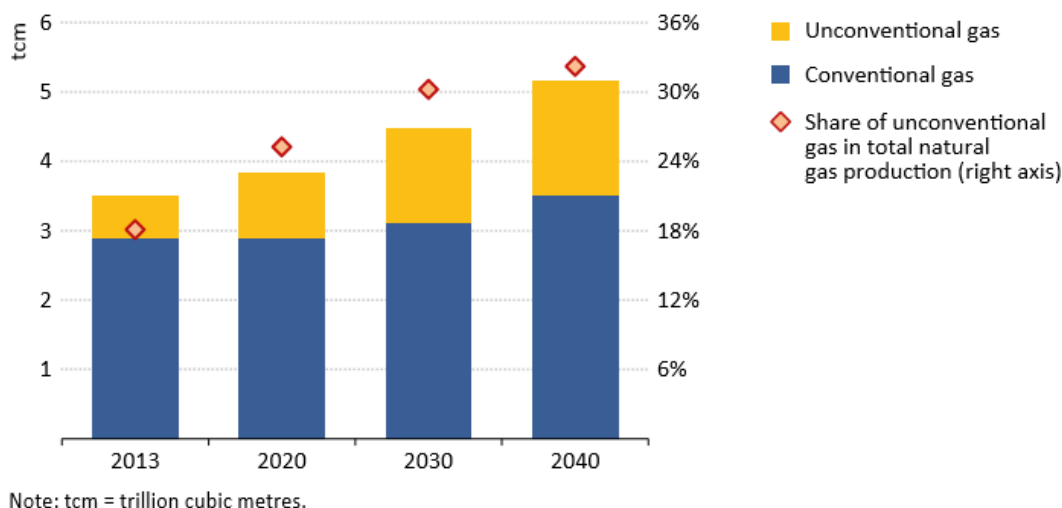
Η παγκόσμια παραγωγή φ.α. προβλέπεται να αυξηθεί κατά 1,4% ετησίως, κατά μέσο όρο, μεταξύ 2013 και 2040, για να φθάσει τα 5160 Bcm μέχρι το τέλος της περιόδου πρόβλεψης, βάσει του σεναρίου «New Policies Scenario» του World Energy Outlook για το 2015. Μεταξύ των συμβατικών παραγωγών, το Ιράν, το Τουρκμενιστάν, το Ιράκ και το Κατάρ παρέχουν τη μεγαλύτερη αύξηση κατά απόλυτη τιμή στην παραγωγή φ.α.

6.4.1.2. Μη συμβατικό φυσικό αέριο

Η εντυπωσιακή αύξηση της παραγωγής μη συμβατικού φ.α. στη Βόρειο Αμερική, η οποία επικεντρώνεται στις Ηνωμένες Πολιτείες, έχει αναδιαμορφώσει τις παγκόσμιες αγορές ενέργειας, καθώς επεκτείνεται και σε άλλες χώρες με σημαντικά αποθέματα παγκοσμίως, οι οποίες δεν είχαν βιώσει προηγουμένως ανάπτυξη φ.α. τέτοιας κλίμακας.

Στο Σενάριο των «New Policies Scenario» του World Energy Outlook για το 2015, η συμβολή του μη συμβατικού φ.α. στην παγκόσμια παραγωγή φ.α. αυξάνεται σταθερά έως το 2040, από περίπου 630 Bcm το 2013 σε σχεδόν 1700 Bcm το 2040, αντιπροσωπεύοντας περίπου το ένα τρίτο της συνολικής παραγωγής φ.α. (Εικόνα 6-14). Περισσότερο από το 60% της συνολικής αύξησης της προσφοράς φ.α. οφείλεται στην ανάπτυξη μη συμβατικών αποθεμάτων. Η σημερινή παγκόσμια παραγωγή μη συμβατικού φ.α. κυριαρχείται από τη Βόρειο Αμερική, η οποία αντιπροσώπευε σχεδόν το 90% του συνόλου το 2013. Το μερίδιο αυτό μειώνεται καθώς η παραγωγή στον υπόλοιπο κόσμο αυξάνεται, αρχικά στην Αυστραλία (με τη μορφή CBM), και στη συνέχεια και σε άλλες χώρες από τα μέσα της δεκαετίας του 2020 και μετά. Ωστόσο, οι Ηνωμένες Πολιτείες παραμένουν ο κύριος παραγωγός μη συμβατικού φ.α. παγκοσμίως, ακόμη και προς το τέλος της περιόδου πρόβλεψης, όταν η εξάντληση των πόρων και το αυξανόμενο κόστος οδηγούν σε πτώση της παραγωγής φ.α. από τον σχιστόλιθο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο. Διεθνής αγορά φυσικού αερίου

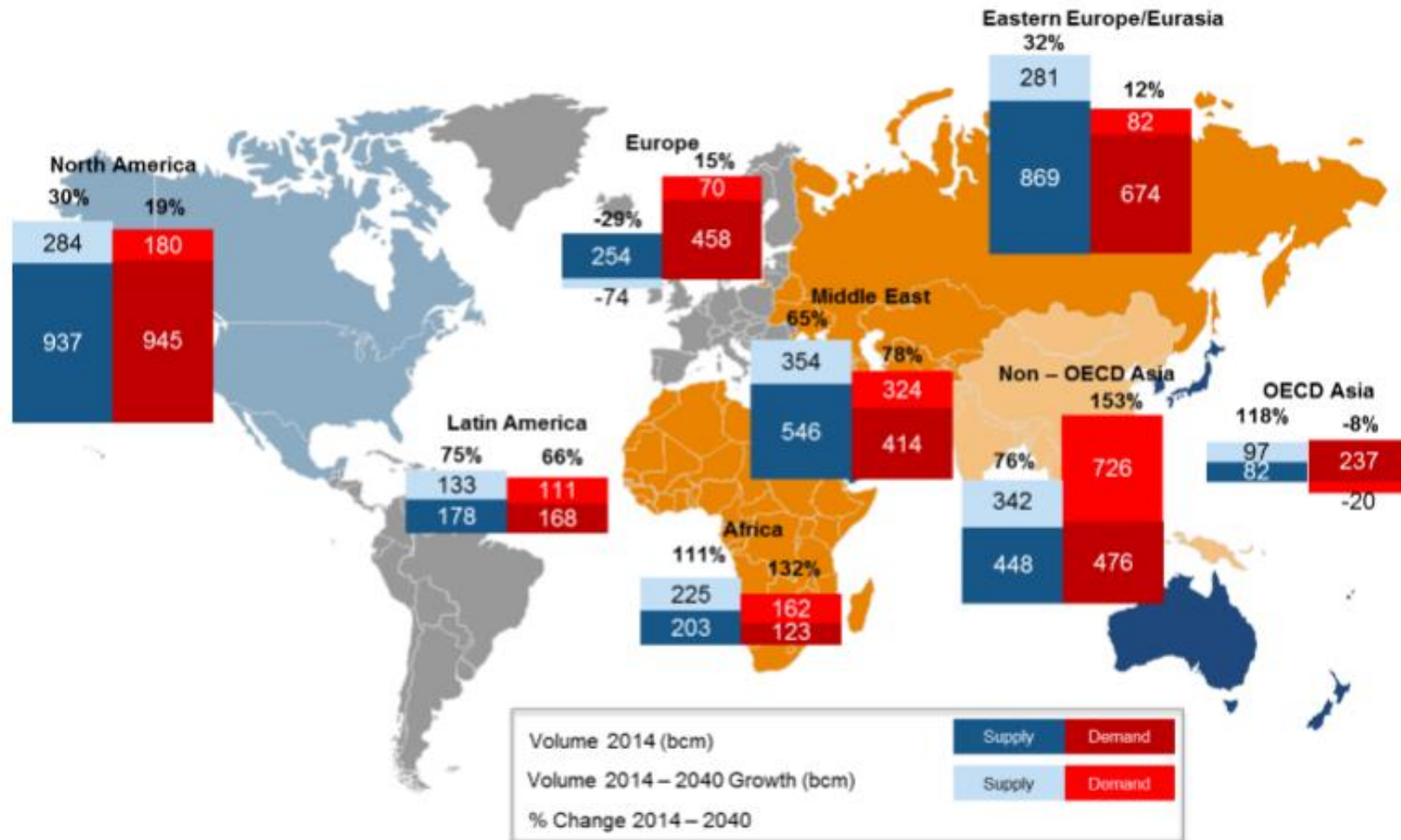


Εικόνα 6-14: Παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου ανά τύπο στο σενάριο “New Policies Scenario”, για το 2040 (IEA, WorldEnergyOutlook, 2015).

Το μη συμβατικό φ.α. αναμένεται να κερδίσει έδαφος και σε ορισμένες χώρες που είναι ήδη σημαντικοί παραγωγοί συμβατικού φ.α., ιδίως στη Σαουδική Αραβία και την Αλγερία, υπό την προϋπόθεση ότι το σχιστολιθικό αέριο είναι ανταγωνιστικό από την άποψη του κόστους και των ανησυχιών του κοινού. Αλλά σε άλλες περιπτώσεις, όπως την Ευρώπη, το σχιστολιθικό αέριο καλείται να αντιμετωπίσει πλήθος εμποδίων μέχρι να κερδίσει την αποδοχή.

Ο όγκος της προβλεπόμενης παραγωγής μη συμβατικού φ.α. κυριαρχείται από το σχιστολιθικό αέριο, το οποίο σχεδόν τριπλασιάζεται στην τιμή των 940 Bcm το 2040 (Πίνακας 6-3). Το CBM αναμένεται να γνωρίσει ταχύτερο ρυθμό ανάπτυξης, αλλά από χαμηλότερη βάση, φθάνοντας σε 340 Bcm μέχρι το 2040, ξεπερνώντας την ποσότητα του παραγομένου έγκλειστου αερίου, το οποίο αυξάνεται σταδιακά (σε ρυθμό πιο κοντά στο συμβατικό φ.α.). Επιπλέον, προβλέπεται σημαντική αύξηση στην παραγωγή φ.α. στην Κίνα μέχρι το 2040.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο. Διεθνής αγορά φυσικού αερίου



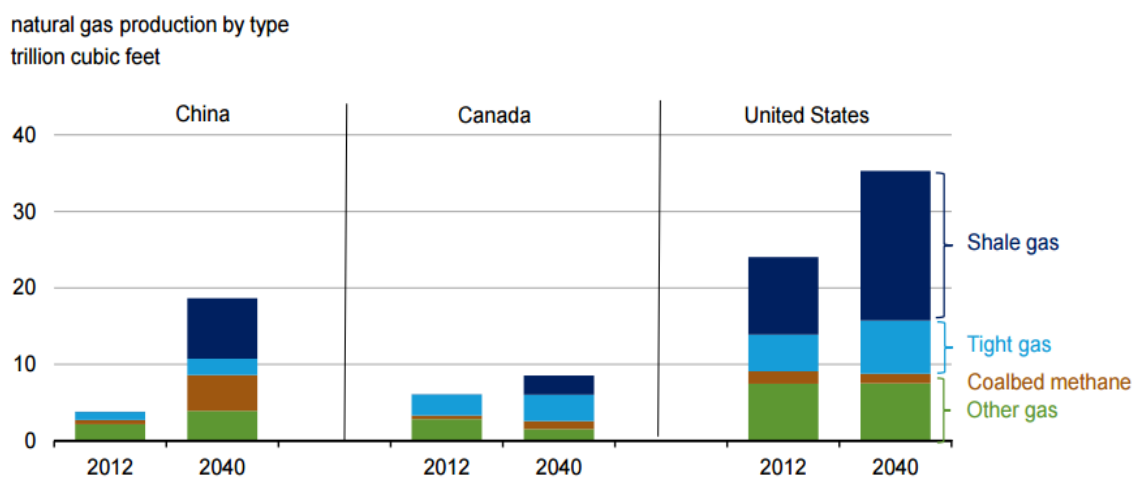
Εικόνα 6-15: Παγκόσμια προσφορά και ζήτηση φυσικού αερίου για την περίοδο 2014-2040 (Bcm) (IEA, World Energy Outlook, 2015).

Πίνακας 6-3: Παγκόσμια παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου στο σενάριο των νέων πολιτικών (Bcm) (IEA, World Energy Outlook, 2015).

	2013	2020	2025	2030	2035	2040	2013-2040	
							Change	CAAGR*
Shale gas	331	577	685	801	908	941	610	3.9%
Coalbed methane	67	115	172	228	284	342	275	6.2%
Tight gas	232	272	283	288	309	338	107	1.4%
Coal-to-gas	3	13	23	33	40	45	43	11.0%
Methane hydrates	-	-	0.0	0.3	0.7	1.0	1.0	n.a.
Total	632	976	1 163	1 352	1 541	1 667	1 035	3.7%

* Compound average annual growth rate.

Στην Υπόθεση Αναφοράς του International Energy Outlook 2016 (IEO2016 - Reference Case), προβλέπεται σημαντική αύξηση της παραγωγής μη συμβατικού φ.α. (σχιστολιθικό αέριο, έγκλειστο αέριο και CBM) κυρίως στην Κίνα, τις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά (Εικόνα 6-16). Το σχιστολιθικό αέριο αντιπροσωπεύει περισσότερο από το ήμισυ της παραγωγής φ.α. στις ΗΠΑ στην Υπόθεση Αναφοράς IEO2016, ενώ τα αποθέματα έγκλειστου αερίου, σχιστολιθικού αερίου και CBM στον Καναδά και την Κίνα αντιπροσωπεύουν περίπου το 80% της συνολικής παραγωγής φ.α. το 2040 στις χώρες αυτές (EIA, 2016).



Εικόνα 6-16: Παραγωγή φυσικού αερίου ανά τύπο στην Κίνα, Καναδά και στις ΗΠΑ, το 2012 και το 2040 (EIA, 2016).

6.4.1.2.1. Επισκόπηση ανά χώρα

Σύμφωνα με το σενάριο «New Policies Scenario» του World Energy Outlook 2015 για το 2040, περισσότερο από το ήμισυ της παγκόσμιας παραγωγής μη συμβατικού φ.α προέρχεται από τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Κίνα. Σύμφωνα με την EIA, η παραγωγή φ.α. σε παγκόσμιο επίπεδο αναμένεται να αυξηθεί από 342 Bcf/d (9,4 Bcm/d) το 2015 σε 554 Bcf/d

(15,2Bcm/d) μέχρι το 2040. Η μεγαλύτερη συνιστώσα αυτής της ανάπτυξης είναι η παραγωγή φ.α. από τον σχιστόλιθο, η οποία αυξάνεται από 42 Bcf/d (1,2 Bcm/d) το 2015 σε 168 Bcf/d (4,6Bcm/d) μέχρι το 2040. Το σχιστολιθικό φ.α. αναμένεται να αντιπροσωπεύει το 30% της παγκόσμιας παραγωγής φ.α. μέχρι το τέλος της περιόδου πρόβλεψης.

Ωστόσο, επί του παρόντος, μόνο τέσσερις χώρες - Ηνωμένες Πολιτείες, Κίνα, Καναδάς και Αργεντινή - έχουν εμπορική παραγωγή σχιστολιθικού αερίου ενώ τα τεχνολογικά επιτεύγματα κατά την περίοδο πρόβλεψης αναμένεται να ενθαρρύνουν την ανάπτυξη σχιστολιθικών πόρων σε άλλες χώρες, όπως το Μεξικό και η Αλγερία. Αθροιστικά, αυτές οι έξι χώρες αναμένεται να αντιπροσωπεύουν το 70% της παγκόσμιας παραγωγής σχιστολιθικού αερίου μέχρι το 2040.

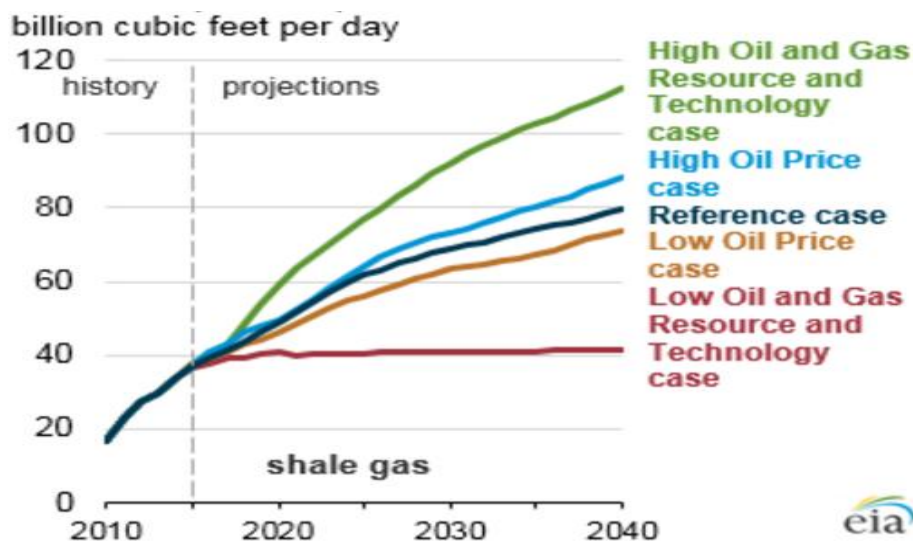
Ηνωμένες Πολιτείες

Οι Ηνωμένες Πολιτείες αναμένεται να παραμείνουν ο μεγαλύτερος παραγωγός μη συμβατικού φ.α. παγκοσμίως έως το 2040, με την παραγωγή να καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το σχιστολιθικό αέριο. Δεδομένου ότι μέχρι στιγμής έχει παραχθεί μόνο το 10% περίπου των εκτιμώμενων ανακτήσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου, δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι η επανάσταση του σχιστολιθικού αερίου πρόκειται να υποχωρήσει: το σχιστολιθικό αέριο αυξάνεται από τα επίπεδα των 420 Bcm στα μέσα του 2015 σε ένα μέγιστο επίπεδο γύρω στα 570 Bcm το 2020, προτού απογειωθεί το 2030 για να φτάσει τα 460 Bcm το 2040. Εάν συμπεριληφθεί παραγωγή έγκλειστου αερίου και CBM, το μη συμβατικό φ.α. αυξάνεται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 85% της συνολικής παραγωγής φ.α. των ΗΠΑ μέχρι το 2020.

Η παραγωγή του έγκλειστου αερίου αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη πηγή εφοδιασμού φ.α. στις Ηνωμένες Πολιτείες στην υπόθεση αναφοράς του ΑΕΟ2017, αλλά η συμβολή του αναμένεται να μειωθεί από τα τέλη της δεκαετίας του 2020, ως αποτέλεσμα της εξελισσόμενης ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου. Ακόμη, η παραγωγή του CBM εξακολουθεί να ακολουθεί πτωτική πορεία έως και το 2040, λόγω των δυσμενών οικονομικών συνθηκών παραγωγής του.

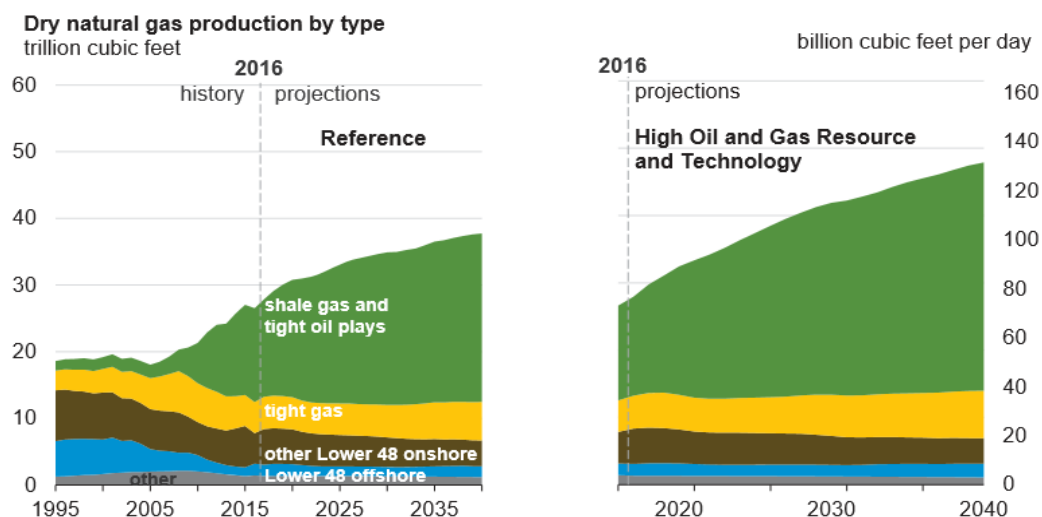
Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου αντιπροσώπευε περισσότερο από το μισό της παραγωγής φ.α. το 2015. Η ΕΙΑ στην υπόθεση αναφοράς του Annual Energy Outlook 2016 (Reference case AEO 2016), αναμένει ότι θα διπλασιαστεί από 37 Bcf/d (1,01 Bcm/d) το 2016 σε 79 Bcf/d (2,2 Bcm/d) το 2040, το οποίο αποτελεί το 70% της συνολικής παραγωγής φ.α. στις ΗΠΑ. Σε αρκετές εναλλακτικές υποθέσεις (side cases) της

ΑΕΟ 2016 απεικονίζεται η επίδραση των τεχνολογικών βελτιώσεων στο κόστος και στην παραγωγικότητα (Εικόνα 6-17). Η παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου το 2040 αναμένεται να είναι 50% υψηλότερη στην υπόθεση High Oil and Gas Resources and Technology, φτάνοντας τα 112 Bcf /d (3,08Bcm/d), ενώ στην υπόθεση Low Oil and Gas Resources and Technology η παράγωγη προβλέπεται να είναι χαμηλότερη από την υπόθεση αναφοράς, φτάνοντας τα 41 Bcf (1,13Bcm).



Εικόνα 6-17: Μελλοντική εξέλιξη της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α. (πέντε σενάρια) την χρονική περίοδο 2015-2040 (EIA, 2016).

Ακόμη, σύμφωνα με την πρόσφατη ΑΕΟ (Annual Energy Outlook) 2017, η παραγωγή του φ.α. στις Ηνωμένες Πολιτείες θα συνεχίσει να αυξάνεται λόγω της συνεχούς ανάπτυξης των σχηματισμών σχιστολιθικού αερίου (Εικόνα 6-18). Η ΕΙΑ στην υπόθεση αναφοράς (reference case) του ΑΕΟ 2017, προβλέπει ότι η παραγωγή φ.α. από τον σχιστόλιθο, η οποία αποτελεί τον μεγαλύτερο παράγοντα συνεισφοράς στην αύξηση της παραγωγής φ.α., θα αντιπροσωπεύει τα 2/3 της συνολικής παραγωγής φ.α. στις Ηνωμένες Πολιτείες μέχρι το 2040.



Εικόνα 6-18: Παραγωγή ξηρού φυσικού αερίου ανά πηγή (EIA, 2017).

Επίσης, οι Ηνωμένες Πολιτείες αναμένεται να καταστούν εξαγωγέας φ.α. μέχρι το 2026, σύμφωνα με την υπόθεση αναφοράς του ΑΕΟ2017.

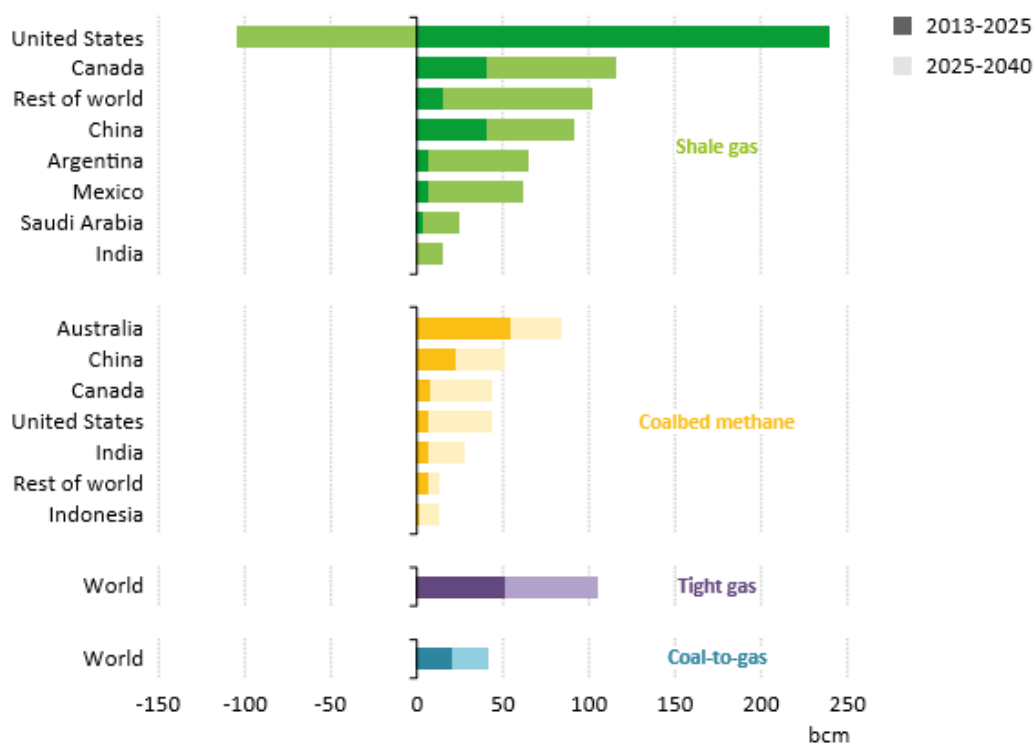
Καναδάς

Η παραγωγή μη συμβατικού φ.α. στον Καναδά υπερδιπλασιάστηκε από το 2000 και έφθασε τα 80 Bcm το 2013, παρά την άνοδο της παραγωγής (production boom) στις Ηνωμένες Πολιτείες, η οποία μείωσε τις περιφερειακές τιμές και το διασυνοριακό εμπόριο μέσω αγωγών (cross-border pipeline trade). Οι εξαγωγές φ.α. μειώθηκαν κατά το ένα πέμπτο τα τελευταία χρόνια και η παραγωγή συμβατικού φ.α. αναμένεται να συνεχίσει την πτωτική της πορεία. Ωστόσο, το μη συμβατικό φ.α. συνεχίζει να αυξάνεται ως ποσοστό της συνολικής παραγωγής φ.α., φτάνοντας περίπου τα 200 Bcm μέχρι το 2040 (περισσότερο από το ήμισυ αφορά σε σχιστολιθικό αέριο) και αντιπροσωπεύει σχεδόν το 90% της συνολικής παραγωγής канаδικού φ.α. μέχρι την εποχή εκείνη. Ο Καναδάς ήδη από το 2008 παράγει σχιστολιθικό αέριο, φτάνοντας σε 4.1Bcf/d (0,11 Bcm/d) το 2015. Η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στον Καναδά προβλέπεται να συνεχίσει να βαίνει αυξανόμενη και να αντιπροσωπεύει το 30% της συνολικής παραγωγής φ.α. μέχρι το 2040. Η παραγωγή CBM αναμένεται επίσης να επεκταθεί στο τελευταίο τμήμα της περιόδου πρόβλεψης, διπλασιάζοντας την τιμή του μετά το 2030 έως τα 50 Bcm.

Αυστραλία

Η Αυστραλία είναι η χώρα εκτός Βόρειας Αμερικής που κυριαρχεί στην ανάπτυξη μη συμβατικών πηγών φ.α., καθώς η παραγωγή CBM αυξάνεται στα 30 Bcm τα προσεχή τρία χρόνια για την προμήθεια των τριών εργοστασίων LNG Gladstone (Queensland), από τα

οποία οι εξαγωγές ξεκίνησαν το 2015. Η παραγωγή CBM προβλέπεται να συνεχίσει να αυξάνεται σταθερά κατά την περίοδο πρόβλεψης, φθάνοντας τα 90 Bcm το 2040 (Εικόνα 6-19). Δεν προβλέπεται σημαντική αύξηση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου από την Αυστραλία πριν από το 2030, αλλά έως το 2040 η παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. βοηθά την συνολική παραγωγή μη συμβατικού φ.α. να φθάσει σε 110 Bcm.



Note: The dark and light legend shadings refer respectively to the periods 2013-2025 and 2025-2040 for unconventional gas.

Εικόνα 6-19: Παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου σε επιλεγμένες χώρες στο σενάριο των New Policies Scenario (IEA, World Energy Outlook, 2015).

Κίνα

Η Κίνα υπήρξε από τις πρώτες χώρες, εκτός της Βορείου Αμερικής, η οποία ανέπτυξε τους σχιστολιθικούς πόρους. Τα τελευταία πέντε έτη, η Κίνα πραγματοποίησε όρυξη περισσότερων από 600 γεωτρήσεων σχιστολιθικού φ.α. και παρήγαγε 0.5 Bcf/d σχιστολιθικού αερίου έως το 2015. Το σχιστολιθικό αέριο αναμένεται να αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 40% της συνολικής παραγωγής φ.α. της χώρας μέχρι το 2040, το οποίο καθιστά την Κίνα το δεύτερο μεγαλύτερο παραγωγό φ.α. από τον σχιστόλιθο παγκοσμίως μετά τις Ηνωμένες Πολιτείες.

Αργεντινή

Η Αργεντινή διαθέτει ένα μακροχρόνια εδραιωμένο τομέα παραγωγής πετρελαίου και φ.α., με την τοπική παραγωγή φ.α. να καλύπτει περίπου τα τέσσερα πέμπτα της ετήσιας ζήτησης των 50Bcm. Με τις προμήθειες να συμπληρώνονται με εισαγωγές μέσω αγωγών (pipeline imports) από τη Βολιβία και εισαγωγές LNG από διάφορες πηγές, υπάρχει ένα ισχυρό κίνητρο για την ανάπτυξη των πόρων σχιστολιθικού αερίου, που σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της ΕΙΑ, κατατάσσουν την Αργεντινή στη δεύτερη θέση παγκοσμίως μετά την Κίνα. Η χώρα παρουσιάζει ελλείψεις στον τομέα των γεωτρύπανων και του ειδικού εξοπλισμού της υδραυλικής ρωγμάτωσης, προβλήματα που αναμένεται να επιλυθούν και η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου να αυξηθεί στα μέσα της δεκαετίας του 2020 και να συνεχίσει να αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς και τα επόμενα έτη. Η παραγωγή αναμένεται να ξεπεράσει τα 60 Bcm, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 75% της συνολικής παραγωγής φ.α. της Αργεντινής μέχρι το 2040.

Αλγερία

Η παραγωγή πετρελαίου και φ.α. στην Αλγερία έχει μειωθεί σημαντικά κατά την τελευταία δεκαετία, γεγονός που ώθησε την κυβέρνηση να ξεκινήσει την αναθεώρηση επενδυτικών νόμων που προβλέπουν προνομιακή μεταχείριση των εθνικών εταιρειών πετρελαίου προς όφελος της συνεργασίας με διεθνείς εταιρείες με στόχο την ανάπτυξη των σχιστολιθικών πόρων. Η Αλγερία έχει ξεκινήσει ένα πιλοτικό πρόγραμμα όρυξης προς παραγωγή σχιστόλιθου φ.α. και έχει αναπτύξει ένα επενδυτικό πρόγραμμα είκοσι (20) ετών για την εμπορική παραγωγή σχιστολιθικού αερίου από το 2020. Η αλγερινή παραγωγή σχιστολιθικού αερίου αναμένεται να αντιπροσωπεύει το ένα τρίτο της συνολικής παραγωγής φ.α. της χώρας μέχρι το 2040.

Σαουδική Αραβία

Η παραγωγή φ.α. στη Σαουδική Αραβία (82 Bcm το 2013) αποτελεί σημαντική συνιστώσα του ενεργειακού μίγματος της χώρας, και αντιπροσωπεύει το ένα τρίτο της ζήτησης πρωτογενούς ενέργειας. Υπάρχουν ελπίδες ότι η επέκταση του εφοδιασμού με φ.α. θα μπορούσε να μετατοπίσει το πετρέλαιο από τον ταχύτατα αναπτυσσόμενο τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας (το πετρέλαιο εξακολουθεί να παρέχει περίπου το ήμισυ της παραγωγής ενέργειας της Σαουδικής Αραβίας). Έχουν υπάρξει λίγες εκτιμήσεις, αλλά τα μη συμβατικά αποθέματα φ.α. υπολογίζονται συντηρητικά γύρω στα 4 Tcm, με το σχιστολιθικό

αέριο να αντιπροσωπεύει περίπου το ήμισυ αυτών. Η Saudi Aramco έχει εκτιμήσει το δυναμικό μη συμβατικού φ.α. στη northwest, Eastern Province και την Empty Quarter και η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου προορίζεται ήδη για την προμήθεια ενός εξορυκτικού έργου και ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε μια νέα βόρεια βιομηχανική πόλη κοντά στα σύνορα με την Ιορδανία. Οι ανάγκες ύδρευσης για την υδραυλική ρωγμάτωση είναι σημαντικοί φραγμοί στην ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου, αλλά η Saudi Aramco έχει ήδη δεσμεύσει 3 δισεκατομμύρια δολάρια για έργα μη συμβατικού φ.α., με άλλα 7 δισεκατομμύρια δολάρια προγραμματισμένων δαπανών. Οι προβλέψεις παραμένουν επιφυλακτικές, αλλά μακροπρόθεσμα η παραγωγή σχιστολιθικού φ.α. αναμένεται να φθάσει τα 25 Bcm το 2040, περίπου στο ένα έκτο της συνολικής προσφοράς φ.α.

Μεξικό

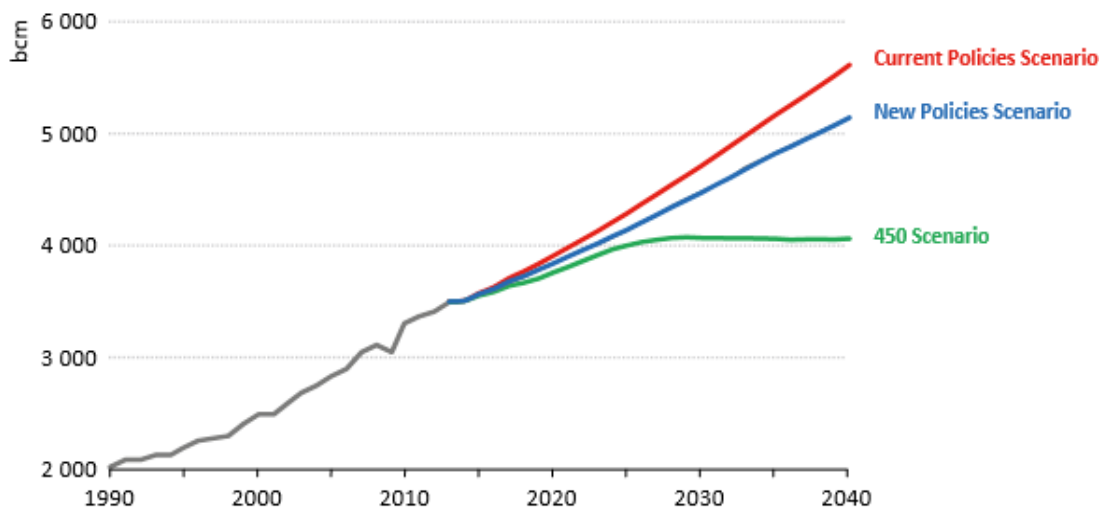
Η παραγωγή συμβατικού φ.α. στο Μεξικό μειώθηκε, περίπου κατά 10% από τις αρχές του 2010, σε 45 Bcm το 2013, ενώ οι εισαγωγές φ.α. από τις Ηνωμένες Πολιτείες σχεδόν διπλασιάστηκαν την ίδια περίοδο. Το Μεξικό είναι πρόθυμο να αναπτύξει τους εγχώριους πόρους υδρογονανθράκων, συμπεριλαμβανομένων των κατ' εκτίμηση 16 Tcm μη συμβατικού φ.α. (σχεδόν εξ' ολοκλήρου σχιστολιθικό αέριο). Προς το παρόν, το Μεξικό βρίσκεται στο στάδιο της επέκτασης της ικανότητας - χωρητικότητας του συστήματος αγωγών για να εισάγει σε χαμηλές τιμές φ.α. από τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η χώρα αναμένεται να ξεκινήσει την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου εμπορικώς μέχρι το 2030, αλλά έκτοτε η παραγωγή αναμένεται να αυξάνεται ραγδαία, με το σχιστολιθικό αέριο να καταλαμβάνει περισσότερο από το 75% της συνολικής παραγωγής φ.α. μέχρι το 2040, φθάνοντας σε 60 Bcm..

Ευρώπη

Οι προσπάθειες για την ανάπτυξη μη συμβατικών πηγών φ.α. στην Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένου του σχιστολιθικού φ.α., δεν έχουν ευοδωθεί μέχρι σήμερα, παρά το κίνητρο που προσφέρει η μείωση της παραγωγής συμβατικού φ.α., οι αυξανόμενες εισαγωγές και οι γενικευμένες ανησυχίες για την ασφάλεια προμήθειας σε φ.α. Τα μορατόρια στην Γαλλία, Βουλγαρία, Σκωτία, η υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, η ανησυχία και η αντιπαράθεση του κοινού για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποτελούν σοβαρά εμπόδια για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου. Ως αποτέλεσμα, προβλέπεται μια μέτρια παραγωγή μη συμβατικού φ.α., της τάξης των 10 Bcm στην Ευρωπαϊκή Ένωση έως το 2040.

6.4.2. Ζήτηση

Η ζήτηση για φ.α. αυξάνεται σε όλα τα μελλοντικά σενάρια που παρουσιάζονται στο World Energy Outlook 2015 (Εικόνα 6-20). Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι εκτιμήσεις για την αύξηση της ζήτησης σε φ.α. έχουν αναθεωρηθεί προς τα κάτω και με την εκτιμώμενη αύξηση να κυμαίνεται από 1,6% έως 1,9% έως το 2040. Ωστόσο, το μερίδιο του φ.α. στη παγκόσμια ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί από 21% το 2013 σε 22% το 2020 και 24% το 2040 αντίστοιχα, βάσει του σεναρίου «New Policies Scenario» (IEA, 2015), γεγονός που το καθιστά το μοναδικό ορυκτό καύσιμο που παρουσιάζει αύξηση. Στο «Current Policies Scenario», όπου η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται με ταχύτερο ρυθμό, παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση της ζήτησης σε φ.α, προσεγγίζοντας τα 5617 Bcm το 2040 (460 Bcm πάνω από το «New Policies Scenario»). Εν αντιθέσει, στο «450 Scenario», η ζήτηση σε φ.α. παρουσιάζει την χαμηλότερη αύξηση, καθώς η κατανάλωση φ.α. επεκτείνεται μέχρι το τέλος του 2020, αλλά στην συνέχεια μειώνεται, συνεπεία των πολιτικών που αποσκοπούν στον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και στην ολοένα και αυξανόμενη εισχώρηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Πίνακας 6-4).



Εικόνα 6-20: Παγκόσμια ζήτηση φυσικού αερίου ανά σενάριο (IEA, World Energy Outlook, 2015).

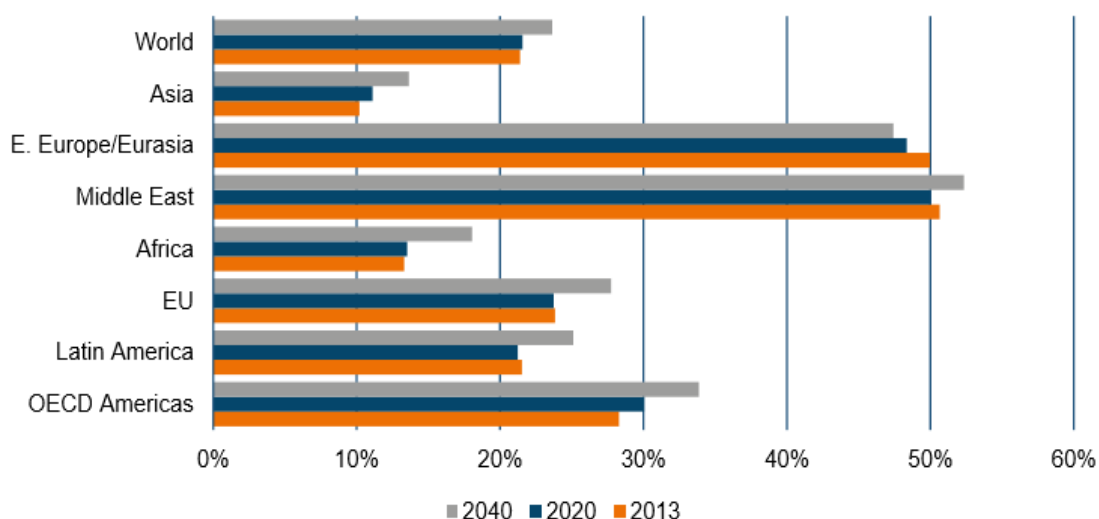
Πίνακας 6-4: Ζήτηση φυσικού αερίου ανά σενάριο και περιοχή (IEA, World Energy Outlook, 2015)

	2000	2013	New Policies		Current Policies		450 Scenario	
			2020	2040	2020	2040	2020	2040
OECD	1 413	1 657	1 704	1 870	1 744	2 125	1 684	1 354
Non-OECD	1 102	1 850	2 139	3 258	2 170	3 491	2 080	2 662
World*	2 515	3 507	3 849	5 160	3 914	5 617	3 770	4 073

* The world numbers include the use of LNG as a marine bunker fuel.

Στην Ευρώπη, η μελλοντική ζήτηση φ.α. αναμένεται να επιβραδυνθεί λόγω της αυξανόμενης απόδοσης της κατανάλωσης ενέργειας, της μείωσης του πληθυσμού, των ανησυχιών για την ασφάλεια, καθώς και του ανταγωνισμού από τον άνθρακα και τέλος τις επιδοτούμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ως εκ τούτου, αναμένεται μικρή αύξηση της ζήτησης φ.α. στην Ε.Ε. μέχρι το 2040 (Εικόνα 6-21). Η περιοχή της Ανατολικής Ευρώπης και της Ευρασίας είναι η μόνη περιοχή στον κόσμο όπου το μερίδιο του φ.α. στη ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας προβλέπεται να μειωθεί από το 2013 έως το 2040.

Στην Ασία, η οικονομική ανάπτυξη φαίνεται να επιβραδύνεται πιο γρήγορα, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των προβολών για τη συνολική ζήτηση ενέργειας και κατά συνέπεια για τη ζήτηση φ.α. Ωστόσο, η περιοχή αναμένεται να εξακολουθεί να ηγείται της μελλοντικής αύξησης της ζήτησης, καθοδηγούμενη σε μεγάλο βαθμό από την Κίνα και την Ινδία.



Εικόνα 6-21: Περιφερειακό μερίδιο φυσικού αερίου στην πρωταρχική ενεργειακή ζήτηση, βάσει του New Policies Scenario (IEA, World Energy Outlook, 2015).

6.5. Επιπτώσεις στην Ευρώπη από τις δυνητικές εξαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) των Ηνωμένων Πολιτειών

Η επανάσταση του σχιστολιθικού αερίου των ΗΠΑ και η αυξανόμενη παραγωγή πετρελαίου από τον σχιστόλιθο είχαν δραματική επίδραση στην παγκόσμια αγορά πετρελαίου, συμβάλλοντας σε σημαντικό βαθμό στην απότομη πτώση των τιμών του αργού πετρελαίου από τον Ιούλιο του 2014. Εξίσου οι εξαγωγές υγροποιημένου φ.α. (LNG) των ΗΠΑ θα μπορούσαν ενδεχομένως να έχουν παρόμοιο αντίκτυπο στην παγκόσμια αγορά φ.α., μειώνοντας περαιτέρω τις τρέχουσες χαμηλές τιμές φ.α.

Η ραγδαία ανάπτυξη της παραγωγής μη συμβατικού φ.α. δεν θα πρέπει να εξετάζεται μεμονωμένα, αλλά σε συνδυασμό με την ανάπτυξη του διεθνούς εμπορίου υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG). Μαζί με την απελευθέρωση ορισμένων εγχώριων αγορών φ.α., ανατρέπει τον τρόπο με τον οποίο καθορίζονται οι τιμές του φ.α., συγκεκριμένα μέσω των τιμών «spot» στις αγορές βραχυπρόθεσμης ισχύος (short-term capacity markets). Το εν λόγω γεγονός μειώνει την ελκυστικότητα του παραδοσιακού μοντέλου τιμολόγησης μέσω μακροχρόνιων συμβάσεων με δείκτη πετρελαίου (oil-indexed longterm contracts) μεταξύ προμηθευτών και καταναλωτών.

Το LNG λαμβάνεται με ψύξη του φ.α. στους -162°C . Παρά το γεγονός ότι είναι δαπανηρό να παραχθεί, το LNG μπορεί να μεταφερθεί μέσω ειδικών πλοίων (κρυογενείς θαλάσσιοι μεταφορείς) και μέσω αγωγών. Την τελευταία δεκαετία σημειώθηκε έκρηξη στο εμπόριο LNG. Το 2014, το φ.α. αντιπροσώπευε το 25% της παγκόσμιας ενέργειας, με το LNG να αντιπροσωπεύει το 10% της παγκόσμιας κατανάλωσης φ.α. και το 31% του παγκόσμιου εμπορίου φ.α. Από το 2005 έως το 2014, το εμπόριο LNG αυξήθηκε κατά μέσο όρο κατά 6% κατ' έτος, ποσοστό σχεδόν διπλάσιο του ρυθμού αύξησης (3,3% κατ' έτος) του εμπορίου φ.α. μέσω αγωγών. Το 2015, το εμπόριο LNG εξακολούθησε να επεκτείνεται, περίπου 3%, με νέες προσθήκες δυναμικότητας υγροποίησης στην Αυστραλία και την Ινδονησία (EIA-International Energy Outlook, 2016).

Τον Δεκέμβριο του 2015, η Γερουσία των Ηνωμένων Πολιτειών ήρε την απαγόρευση των εξαγωγών αργού πετρελαίου στις ΗΠΑ. Εν αντιθέσει, οι εξαγωγές φ.α. από τις ΗΠΑ εξακολουθούν να περιορίζονται. Ένας αμερικανικός νόμος του 1938 απαγορεύει την εξαγωγή φ.α., εάν αποτελεί απειλή για τα εθνικά συμφέροντα. Παράλληλα, όμως, ο νόμος

ορίζει ότι τα εθνικά συμφέροντα δεν διακυβεύονται στην περίπτωση εξαγωγών προς τις χώρες που έχουν συνάψει συμφωνίες ελεύθερων συναλλαγών - ΣΕΣ (free trade agreements - FTAs) με τις ΗΠΑ, όπως οι χώρες της Βόρειας Αμερικής, η Νότια Κορέα, η Ιαπωνία, η Κολομβία και το Περού. Η ΕΕ δεν έχει συνάψει συμφωνία ελεύθερων συναλλαγών με τις ΗΠΑ, καθιστώντας νομικά δύσκολη την εισαγωγή φ.α. από την εν λόγω χώρα. Ωστόσο, οι διαπραγματεύσεις για την Διατλαντική Εταιρική Σχέση Εμπορίου και Επενδύσεων (Transatlantic Trade and Investment Partnership – TTIP) προχωρούν, και το Συμβούλιο Εξωτερικών Υποθέσεων της ΕΕ, εξέφρασε μεγάλες προσδοκίες για τη σύναψη χωριστού κεφαλαίου για την ενέργεια και τις πρώτες ύλες στη συνεδρίασή του της 21^{ης} Νοεμβρίου 2014⁴. Ενώ οι συζητήσεις για το εν λόγω κεφάλαιο δεν φαίνεται να προχωρούν (δεν υπάρχει ακόμη απόφαση να συμπεριληφθεί μέχρι στιγμής), ένα παλαιότερο πρόχειρο σχέδιο μπορεί να παράσχει ορισμένες ενδείξεις. Σε κάθε περίπτωση, με ή χωρίς το κεφάλαιο για την ενέργεια, το ίδιο το TTIP, μπορεί να διευκολύνει τις εξαγωγές LNG των ΗΠΑ προς την Ευρώπη.

Η Γερουσία των ΗΠΑ και η Βουλή των Αντιπροσώπων (House of Representatives) έχουν σε εκκρεμότητα ορισμένα νομοσχέδια σχετικά με το LNG, με στόχο την απελευθέρωση των εξαγωγών φ.α.⁵ Εκτός από τα νομικά εμπόδια, η έλλειψη υποδομών περιορίζει περαιτέρω τις δυνατότητες των αμερικανικών εταιρειών να εξάγουν φ.α. Η ανάπτυξη των εξαγωγών LNG δεν έχει μέχρι τώρα αποτελέσει προτεραιότητα, καθώς το LNG χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό για την εγχώρια βιομηχανική παραγωγή. Επιπλέον, οι μεγάλες εγκαταστάσεις LNG απαιτούν τεράστιες επενδύσεις. Τα περισσότερα έργα εξαγωγής LNG θα χρειαστούν παγκόσμια τιμή πετρελαίου 60 δολάρια ανά βαρέλι για να καταστούν κερδοφόρα και τουλάχιστον 50 δολάρια ανά βαρέλι για την κάλυψη του κόστους. Ακόμα και στα 50 δολάρια το βαρέλι, η βιωσιμότητα είναι αβέβαιη για πολλές εταιρείες (DEMICO, 2016).

⁴Το TTIP θα πρέπει να διευκολύνει τη συνεργασία στον τομέα της ενέργειας μεταξύ των ΗΠΑ και της ΕΕ, στοχεύοντας σε εναρμονισμένα πρότυπα και κανόνες. Οι γενικές διατάξεις του TTIP αφορούν το εμπόριο αγαθών και υπηρεσιών και τις σχετικές επενδύσεις. Ωστόσο, πρέπει να συμπεριληφθούν συγκεκριμένοι κανόνες για την κατάλληλη κάλυψη των επενδύσεων στην ενέργεια και το εμπόριο πρώτων υλών και ενεργειακών προϊόντων. Οι σχετικές διατάξεις θα πρέπει να βελτιώσουν τη διαφάνεια κατά τη χορήγηση αδειών για την εξαγωγή ενεργειακών αγαθών και την πρόσβαση στην αγορά. Ομοίως, πρέπει να καταργηθούν οι περιορισμοί στις εξαγωγές πρώτων υλών και ενεργειακών αγαθών. Επιπλέον, θα προωθηθεί το εμπόριο αγαθών ανανεώσιμης ενέργειας με κατάλληλα τεχνικά πρότυπα και κανόνες. Η αύξηση των προηγμένων ευρωπαϊκών τεχνολογιών πράσινης τεχνολογίας θα προωθήσει την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής στις ΗΠΑ.

⁵Το νομοσχέδιο εγκρίθηκε από τη Βουλή των Αντιπροσώπων των ΗΠΑ το 2015 (H.R. 8) και ένα παρόμοιο νομοσχέδιο από τη Γερουσία (S. 2012) με σκοπό να επιταχυνθεί η έκδοση αδειών εξαγωγής για χώρες που δεν ανήκουν στη ζώνη ελεύθερων συναλλαγών, θέτοντας ένα νέο νόμιμο χρονικό όριο.

6.5.1. Έργα εξαγωγών LNG των ΗΠΑ

Η αύξηση της παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου, η οποία εξελίχθηκε με ταχύτερο ρυθμό από την αύξηση της εγχώριας ζήτησης, και η υψηλή τιμή του LNG το 2014, ώθησαν τους παραγωγούς στις ΗΠΑ να μετατραπούν σε εξαγωγείς LNG. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι εξαγωγές LNG υπόκεινται στην έγκριση της Ομοσπονδιακής Ενεργειακής Ρυθμιστικής Επιτροπής (Federal Energy Regulatory Commission – FERC), του Υπουργείου Μεταφορών (Department of Transportation) και του Υπουργείου Ενέργειας (Department of Energy–DOE).

Πριν από την έκρηξη του σχιστολιθικού φ.α. οι ΗΠΑ είχαν ξεκινήσει την κατασκευή τερματικών σταθμών LNG για την εισαγωγή φ.α.. Τώρα, οι πέντε τερματικοί σταθμοί LNG των ΗΠΑ βρίσκονται σε αδράνεια, καθώς γίνονται σχέδια για να μετατραπούν ορισμένα από αυτά σε πλατφόρμες, οι οποίες θα επιτρέψουν στις ΗΠΑ να εξάγουν φ.α. για πρώτη φορά. Η πιο πιθανή εξαγωγική αγορά θα είναι η Ασία (κυρίως η Κίνα, η Ιαπωνία και η Κορέα), όπου οι εισαγωγές φ.α. αυξήθηκαν σχεδόν κατά 500% μεταξύ 2000 και 2011 και όπου η ζήτηση αναμένεται να αυξηθεί κατά 17% έως το 2018. Η ασιατική ζήτηση έχει επίσης προκαλέσει επενδύσεις σε εγκαταστάσεις LNG στην Αυστραλία, η οποία θα μπορούσε να ξεπεράσει το Κατάρ ως τον κορυφαίο παγκόσμιο εξαγωγέα φ.α. μέχρι το 2020 (Dreyer & Stang, 2013).

Ενώ τα πρώτα σχέδια εξαγωγών σε χώρες που δεν έχουν υπογράψει Συμφωνίες Ελευθέρων Συναλλαγών (ΣΕΣ) με τις Ηνωμένες Πολιτείες, χρειάστηκαν περισσότερα από δύο χρόνια έρευνας, από το 2013 το DOE επιτάχυνε το ρυθμό των αδειών εξαγωγής LNG. Τον Απρίλιο του 2016, από τα περίπου 40 σχέδια που προτάθηκαν στις ΗΠΑ, 13 έλαβαν εξουσιοδότηση από το DOE για να εξάγουν σε χώρες που δεν έχουν ΣΕΣ με τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η συνολική προτεινόμενη εξαγωγική δυναμικότητα (περίπου 400 Bcm/ έτος) είναι μεγαλύτερη από τις παγκόσμιες εισαγωγές LNG το 2015.

Επί του παρόντος, επτά έργα έχουν λάβει άδεια από το FERC. Από τα επτά έργα που εγκρίθηκαν από τον FERC με χωρητικότητα 140 Bcm ετησίως (Πίνακας 6-5), το πρώτο, το Sabine Pass LNG, τέθηκε σε λειτουργία στα τέλη Φεβρουαρίου 2016 και τα τέσσερα άλλα έργα βρίσκονται υπό κατασκευή. Μέχρι το 2020, η εξαγωγική ικανότητα των ΗΠΑ θα μπορούσε να φτάσει τα 84 Bcm το χρόνο, με περίπου 825 πλοία μεταφοράς (carriers) LNG (170.000 m) ετησίως, τα οποία θα μεταφέρουν το LNG στις εξαγωγικές αγορές (Cornot-Gandolphe, 2016).

Πίνακας 6-5: Τερματικά έργα εξαγωγών LNG εγκεκριμένα από το FERC (Cornot-Gandolphe, 2016).

Project/place	Operators	Capacity (Gm ³ /an)	Number of trains	Status	Starting date of the first train
Sabine Pass, LA	Cheniere/Sabine Pass LNG (trains 1 to 5)	29,9	5	Trains 1 and 2 (operational) Trains 3 to 5 (under construction)	February 2016
Sabine Pass, LA	Cheniere/Sabine Pass LNG (train 6)	6,0	1	FID expected in 2016	2021
Cove Point LNG, MD	Dominion-Cove Point LNG	7,0	1	Under construction	2018
Cameron LNG (Hackberry), LA	Sempra-Cameron LNG	18,0	3	Under construction	March 2018
Cameron LNG (Hackberry), LA	Sempra-Cameron LNG	13,3	2	FID expected in 2017	2021
Freeport, TX	Freeport LNG	17,6	3	Under construction	2019
Corpus Christi, TX	Cheniere – Corpus Christi LNG (trains 1 et 2)	12,0	2	Under construction	Late 2018
Corpus Christi, TX	Cheniere – Corpus Christi LNG (train 3)	6,0	1	FID expected in 2016	2022
Lake Charles LNG, LA	Southern Union – Lake Charles LNG	20,0	3	FID expected in 2016	2020
Magnolia LNG (Lake Charles), LA	Magnolia LNG	10,6	4	Authorised by FERC in April 2016. FID expected in 2016	2021
TOTAL		140,2	including 84.4 under construction		

Calculated based on 1 Mt of LNG = 1.33 bcm

Ο ακόλουθος χάρτης (Εικόνα 6-22) υπογραμμίζει ένα γεωγραφικό πλεονέκτημα για πιθανές εξαγωγές LNG των ΗΠΑ προς την ΕΕ: οι υφιστάμενοι ή οι προγραμματισμένοι τερματικοί σταθμοί LNG βρίσκονται στην Ανατολική Ακτή, γεγονός που μειώνει προφανώς το κόστος μεταφοράς στην Ευρώπη. Ωστόσο, η πρόσφατη αναβάθμιση του καναλιού του Παναμά, το καθιστά διαθέσιμο σε γιγάντια δεξαμενόπλοια LNG, μειώνοντας το κόστος μεταφοράς στην Ασία. Οι εξαγωγές LNG, κατά πάσα πιθανότητα θα προσελκύνονται εκεί από τις υψηλότερες (αν και προοδευτικά συγκλίνουσες) τιμές της Ασίας.



Εικόνα 6-22: Τερματικοί σταθμοί εξαγωγής LNG στις Ηνωμένες Πολιτείες (EIA, 2016).

Η σχέση μεταξύ των παγκόσμιων τιμών πετρελαίου και της αγοράς LNG spot επιβεβαιώθηκε από πρόσφατες αναλύσεις. Εντούτοις, δείχνουν ότι οι τιμές του φ.α που

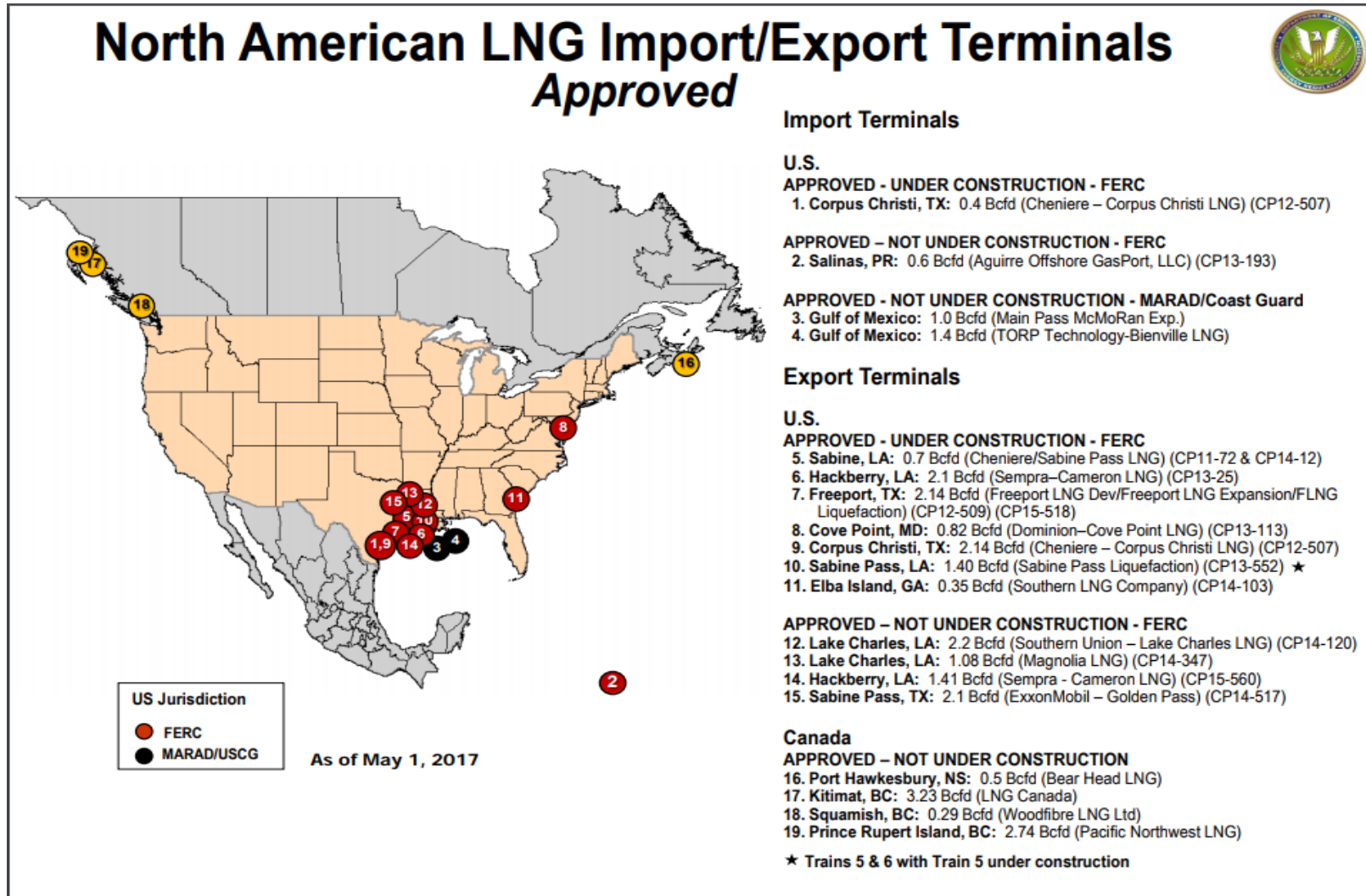
διακινείται μέσω αγωγών (riped gas prices) ("hub price – τιμή κόμβου") είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητες από τις τιμές του πετρελαίου. Αυτό εξηγεί γιατί η τιμή του ρωσικού φ.α. μπορεί να είναι χαμηλότερη από την τιμή του LNG. Μόνο το 42% του φ.α. το οποίο πωλείται στην ευρωπαϊκή αγορά αναπροσαρμόστηκε με βάση το πετρέλαιο το 2013 (DEMICCO, 2016).

Το έργο υγροποίησης Sabine Pass της Cheniere Energy στο Pass Sabine, Λουιζιάνα, αποτελείται από έξι διαφορετικές μονάδες υγροποίησης (liquefaction units, or trains), η πρώτη από τις οποίες άρχισε να λειτουργεί τον Φεβρουάριο 2016. Η συνολική επιτρεπόμενη χωρητικότητα από το FERC είναι 4,16 Bcf / d.

Τέσσερις τερματικοί σταθμοί εξαγωγής LNG βρίσκονται υπό κατασκευή (Εικόνα 6-23):

- Η εγκατάσταση LNG Dominion Energy Cove Point στο Cove Point, Maryland, έχει προγραμματίσει να φέρει μία μονάδα υγροποίησης (train) δυναμικότητας 0,82 Bcf / d κοντά στα τέλη του 2017.
- Το Corpus Christi LNG, άλλο έργο της Cheniere, βρίσκεται υπό κατασκευή στο Corpus Christi του Τέξας. Ο τερματικός σταθμός προγραμματίζεται να αρχίσει να λειτουργεί το 2018, με συνολική επιτρεπόμενη δυναμικότητα 2,14 Bcf / d.
- Ο τερματικός σταθμός LNG Cameron της Semptra Energy, που βρίσκεται στο Hackberry της Λουιζιάνας, βρίσκεται υπό κατασκευή και έχει προγραμματιστεί να φέρει τρεις μονάδες υγροποίησης σε απευθείας σύνδεση το 2018. Έχει επιτραπεί συνολική δυναμικότητα 1,7 Bcf / d.
- Ο τερματικός σταθμός Freeport LNG που έχει σχεδιαστεί στο Freeport του Τέξας διαθέτει τρεις μονάδες υγροποίησης υπό κατασκευή συνολικής δυναμικότητας 1,8 Bcf/d. Οι δύο πρώτες προγραμματίζονται να αρχίσουν να λειτουργούν το 2019 και η τρίτη το 2020.

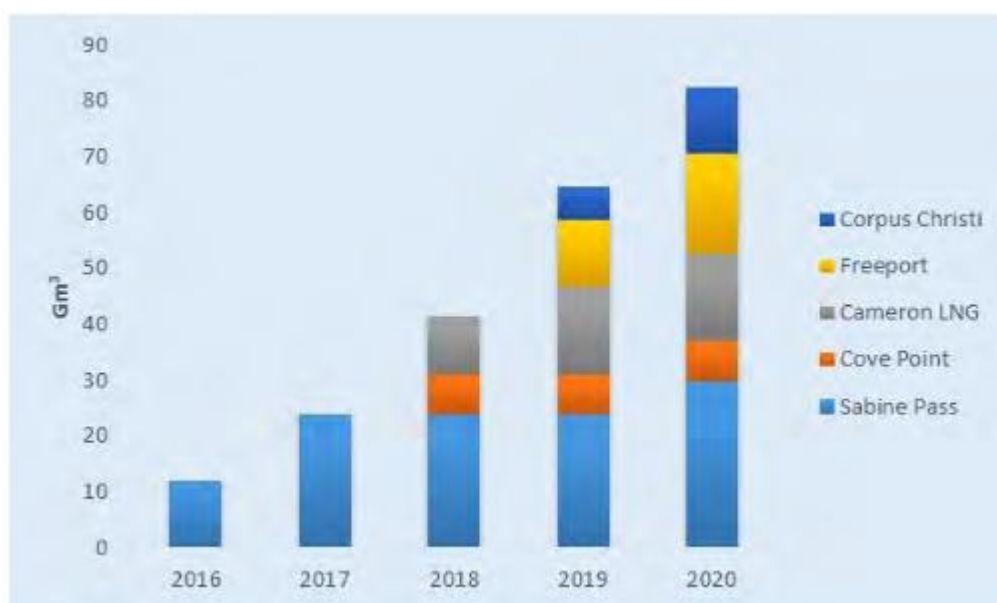
Οι νέοι τερματικοί σταθμοί αναμένεται να επωφεληθούν από το φ.α. που παράγεται στην λεκάνη Appalachian Basin, ιδιαίτερα οι περιοχές Marcellus και Utica, οι οποίες αποτελούν την πηγή μεγάλης αύξησης της παραγωγής των ΗΠΑ τα τελευταία χρόνια. Το έργο υγροποίησης Sabine Pass εξασφαλίζει 300 εκατομμύρια κυβικά πόδια ημερησίως (MMcf / d) φ.α. από το έργο Texas Gas Transmission Ohio-Louisiana Access Project, το οποίο διευκολύνει τις πρόσθετες ροές φ.α. από τις περιοχές Marcellus και Utica στις νότιες Ηνωμένες Πολιτείες (EIA, 2016).



Εικόνα 6-23: Εγκεκριμένοι τερματικοί σταθμοί εισαγωγής/εξαγωγής LNG της Βόρειας Αμερικής (Liquefied Natural Gas Exports/America's Opportunity and Advantages, 2016), (FERC, 2017).

Η αύξηση της εξαγωγικής ικανότητας των Ηνωμένων Πολιτειών είναι σταδιακή και οι συνέπειες αυτής της νέας παραγωγικής ικανότητας στις αγορές φ.α. θα γίνουν αισθητές κυρίως από το 2018. Το 2016 και το 2017, οι εξαγωγικές ικανότητες ισχύουν μόνο για τη μονάδα υγροποίησης Sabine Pass (Εικόνα 6-24).

Οι φορείς εκμετάλλευσης των πέντε υπό κατασκευή έργων έχουν υπογράψει συμβατικές δεσμεύσεις (contractual commitments) για εξαγωγική δυναμικότητα περίπου 80 Bcm/ έτος. Επιπλέον, πολλά έργα (Lake Charles, Golden Pass, Magnolia, Jordan Cove, Elba Island και οι πρόσθετες μονάδες (additional trains) στο Pass Sabine και Corpus Christi) έχουν διαπραγματευθεί συμβάσεις πώλησης, αλλά δεν έχουν ακόμη λάβει την τελική επενδυτική τους απόφαση. Η υπερβολική προσφορά στην παγκόσμια αγορά LNG δεν θα διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων και την απόκτηση χρηματοδότησης. Τα δύο πρώτα έργα αποτελούν έργα τα οποία βασίζονται σε υπάρχοντες τερματικούς σταθμούς εισαγωγής, με χαμηλότερο κόστος από ένα έργο που σχεδιάζεται από το μηδέν («greenfield»). Αυτό δεν συμβαίνει στην περίπτωση του έργου Jordan Cove, του οποίου το μέλλον είναι αβέβαιο, μετά την απόφαση του FERC τον Μάρτιο του 2016 να μην επιτρέψει την κατασκευή της μονάδας υγροποίησης, ούτε εκείνη του αγωγού που θα την προμηθεύσει.



Εικόνα 6-24: Αύξηση της εξαγωγικής ικανότητας LNG των ΗΠΑ (έργα υπό κατασκευή τον Απρίλιο του 2016) (Cornot-Gandolphe, 2016).

Η πλειοψηφία της εξαγωγικής ικανότητας (περισσότερο από το ήμισυ για τα πέντε υπό κατασκευή έργα) έχει δεσμευτεί από εταιρείες διαχείρισης (aggregators) LNG, ώστε να διατίθεται προς πώληση στις αγορές που προσφέρουν την καλύτερη τιμή. Εκτός από τις συμβάσεις που συνάφθηκαν με τις παραπάνω εταιρείες, οι περισσότερες από τις συμβάσεις

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

που υπογράφηκαν με τους φορείς εκμετάλλευσης των ΗΠΑ ήταν από την Ασία (κυρίως την Ιαπωνία και την Ινδία), αλλά και την Ευρώπη, η οποία έχει επίσης την ευκαιρία διαφοροποίησης και μείωσης της τιμής προμήθειας LNG. Οι συμβάσεις οι οποίες έχουν υπογραφεί από τους φορείς εκμετάλλευσης της Ευρώπης (πέραν από τις εταιρείες διαχείρισης) ανέρχονται συνολικά σε περίπου 20 Bcm ετησίως. Ωστόσο, αυτές οι συμβάσεις δεν περιλαμβάνουν ρήτρες προορισμού και το LNG μπορεί να διοχετευτεί προς πώληση σε οποιαδήποτε αγορά.

Οι παραδόσεις LNG των ΗΠΑ ξεκίνησαν από τα τέλη Φεβρουαρίου 2016, με το πρώτο φορτίο LNG από την μονάδα Pass Sabine (Cheniere) το οποίο εξήχθη στη Βραζιλία. (Cornot-Gandolphe, 2016). Μέχρι το 2020, οι ΗΠΑ αναμένεται να γίνουν ο τρίτος μεγαλύτερος εξαγωγέας φ.α. στον κόσμο μετά την Αυστραλία και το Κατάρ.

Οι περισσότερες εξαγωγές LNG των ΗΠΑ έχουν φθάσει μέχρι σήμερα κυρίως στην Λατινική Αμερική αλλά και στην Ασία, Αφρική. Η Βορειοδυτική Ευρώπη αποτέλεσε τον πρώτο ευρωπαϊκό προορισμό των εξαγωγών LNG των ΗΠΑ, με τις πρώτες εξαγωγές να έχουν γίνει στην Πολωνία, Ολλανδία και Λιθουανία. Οι εν λόγω χώρες αποσκοπούν στην μείωση της ενεργειακής τους εξάρτησης από την Ρωσία (OilPrice, 2017). Φορτία από τον σταθμό Sabine Pass της Cheniere έφθασαν επίσης στην Ισπανία, την Πορτογαλία, την Ιταλία και την Τουρκία με αυξανόμενο ρυθμό τους τελευταίους τρεις μήνες, σύμφωνα με τον σύμβουλο της εταιρείας Timera Energy με έδρα το Λονδίνο. Η εταιρεία εκτιμά ότι μόνο το 17% του LNG των Η.Π.Α. πήγε στην Ευρώπη από τότε που ξεκίνησαν οι εξαγωγές τον Φεβρουάριο του 2016 (LNG World News, 2017).

Στον κάτωθι χάρτη της Εικόνας 6-25 παρουσιάζονται κατά προσέγγιση οι μέσες οι τιμές του LNG που παραδίδεται στους τερματικούς σταθμούς εισαγωγής LNG σε όλο τον κόσμο για τον Φεβρουάριο 2016. Τα τελευταία χρόνια, οι τιμές LNG στην Ασία ήταν πιο υψηλές από τις τιμές στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική, αλλά αυτές οι τιμές είναι περισσότερο αναπροσαρμοσμένες (indexed to oil prices) με τις τιμές του πετρελαίου. Ως αποτέλεσμα των χαμηλών τιμών πετρελαίου, οι τιμές LNG στην Ασία είναι πλέον συγκρίσιμες με τις αντίστοιχες της Ευρώπης (Umbach, 2017).



Εικόνα 6-25: Τιμές LNG (USD / MMBtu) ανά τον κόσμο (Φεβρουάριος 2016)

Αν και το κόστος των εξαγωγών καθιστά δύσκολη την είσοδο των Ηνωμένων Πολιτειών στην ευρωπαϊκή και ασιατική αγορά, εάν οι τιμές του πετρελαίου αρχίσουν να αυξάνονται, η σύνδεση μεταξύ των τιμών του LNG και του φ.α. στην Ασία θα καταστήσει τις Ηνωμένες ΗΠΑ πιο ανταγωνιστικές και εν συνεχεία πιο ισχυρές (Salameh, 2016).

Αξίζει να σημειωθεί ότι τον Ιανουάριο του 2016, έφτασε το πρώτο φορτίο υγροποιημένου σχιστολιθικού αερίου στην Ιαπωνία από τις Ηνωμένες Πολιτείες, ως μέρος της προσπάθειας της χώρας να διαφοροποιήσει τις ενεργειακές της προμήθειες. Το εν λόγω γεγονός σηματοδοτεί επίσης την πρώτη εισαγωγή LNG στην Ιαπωνία, το οποίο παράγεται στις παρακείμενες (contiguous) Ηνωμένες Πολιτείες. Η Ιαπωνία είχε προηγουμένως εισαγάγει LNG μόνο από την Αλάσκα (Reuters, 2016).

6.5.2. Προβλέψεις σχετικά με τις εξαγωγές LNG από τις ΗΠΑ

Οι Ηνωμένες Πολιτείες αναμένεται να καταστούν καθαρός εξαγωγέας φ.α. σε μέση ετήσια βάση μέχρι το 2018, σύμφωνα με την υπόθεση αναφοράς (Reference case) της πρόσφατης δημοσίευσης της ετήσιας έκθεσης Energy Outlook 2017 (AEO2017). Η μετάβαση αυτή οφείλεται στην πτώση των εισαγωγών φ.α. μέσω αγωγών (pipeline imports), στην αύξηση των εξαγωγών φ.α. μέσω αγωγών (pipeline exports) και στην αύξηση των εξαγωγών LNG. Στις περισσότερες περιπτώσεις του AEO2017, οι ΗΠΑ αναμένεται επίσης να καταστούν

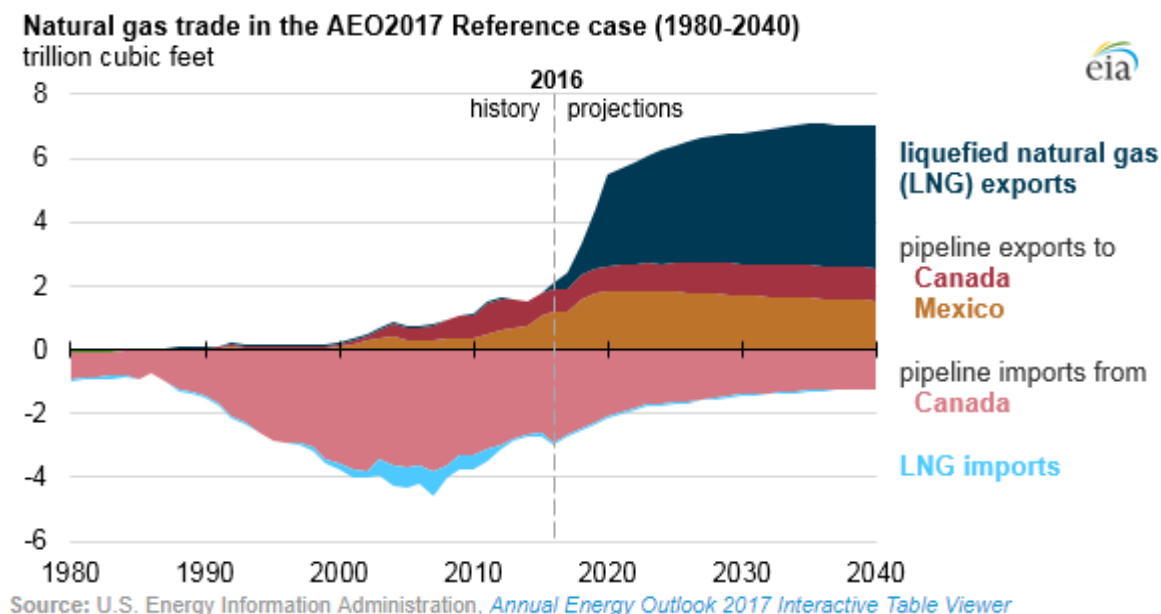
καθαρός εξαγωγέας συνολικής ενέργειας κατά τη δεκαετία του 2020, κυρίως λόγω της αύξησης των εξαγωγών φ.α.

Το 2016, οι ΗΠΑ ήταν καθαρός εισαγωγέας φ.α., με καθαρές εισαγωγές 2,6 Bcf /d (27 Bcm). Καθώς ολοκληρώνονται αρκετά έργα εξαγωγής LNG που βρίσκονται υπό κατασκευή, οι εξαγωγές LNG αναμένεται να αποτελέσουν ένα αυξανόμενο μερίδιο των εξαγωγών φ.α. και να ξεπεράσουν τις εξαγωγές φ.α. μέσω αγωγών έως το 2020.

Η εγκατάσταση Sabine Pass στη Λουϊζιάνα αποτέλεσε την πρώτη λειτουργική μονάδα εξαγωγής LNG στις Κάτω Χώρες το 2016. Μέχρι το 2021 αναμένεται να ολοκληρωθούν οι τέσσερις εγκαταστάσεις εξαγωγής LNG που βρίσκονται σήμερα υπό κατασκευή. Συνδυασμένα, αυτές οι πέντε μονάδες αναμένεται να έχουν λειτουργική εξαγωγική ικανότητα 9,2 Bcf/d (95,5 Bcm). Μετά το 2021, οι προβλεπόμενες εξαγωγές LNG των ΗΠΑ αυξάνονται με μικρότερο ρυθμό, καθώς το φ.α. των ΗΠΑ αντιμετωπίζει αυξανόμενο ανταγωνισμό από άλλους παγκόσμιους προμηθευτές LNG.

Οι εξαγωγές φ.α. μέσω αγωγών προς το Μεξικό αναμένεται επίσης να αυξηθούν. Οι εξαγωγές των ΗΠΑ προς το Μεξικό διπλασιάστηκαν από το 2009 και αναμένεται να συνεχίσουν να αυξάνονται τουλάχιστον μέχρι το 2020 καθώς ολοκληρώνονται τα έργα αγωγών που βρίσκονται υπό κατασκευή (EIA, 2017). Οι εισαγωγές φ.α από τον Καναδά συνεχίζουν να μειώνονται, ενώ οι εξαγωγές των ΗΠΑ προς τον Καναδά συνεχίζουν να αυξάνονται λόγω της εγγύτητας του ανατολικού Καναδά με άφθονους πόρους φ.α. από τη λεκάνη Marcellus. Οι εισαγωγές φ.α. στις ΗΠΑ, οι περισσότερες από τις οποίες έρχονται μέσω αγωγών από τον δυτικό Καναδά, αναμένεται να συνεχίσουν να μειώνονται. (Εικόνα 6-26).

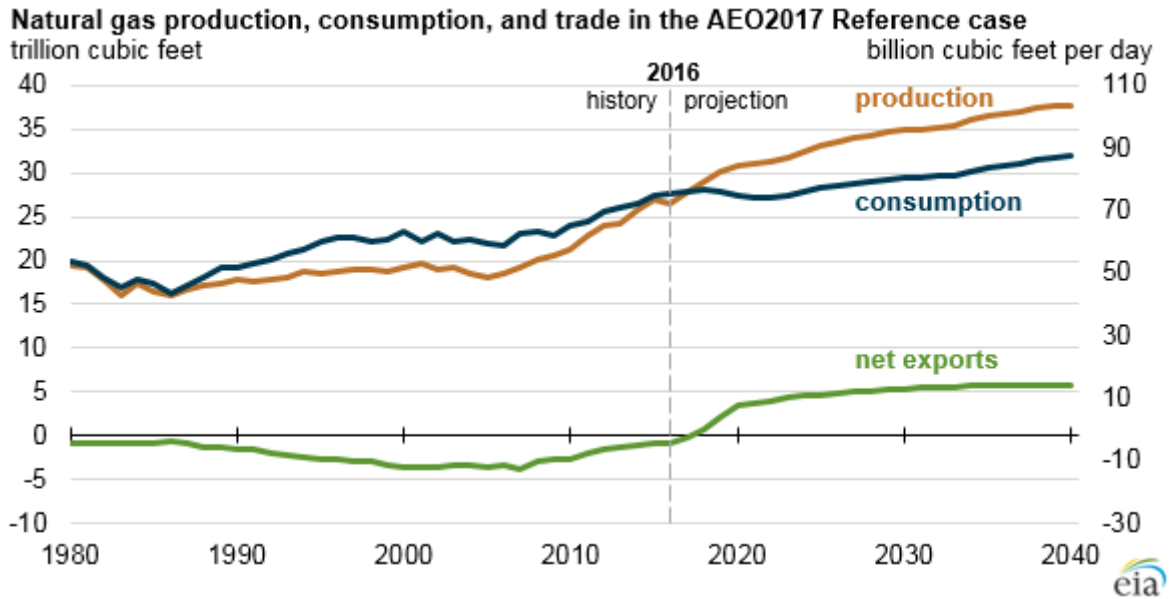
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η IEA, (New Policies Scenario), προβλέπει ότι οι εξαγωγές LNG από τη Βόρεια Αμερική (συμπεριλαμβανομένου του Καναδά) θα ανέλθουν στα 82 Bcm το 2025 και στα 95 Bcm το 2040 (IEA, World Energy Outlook, 2015).



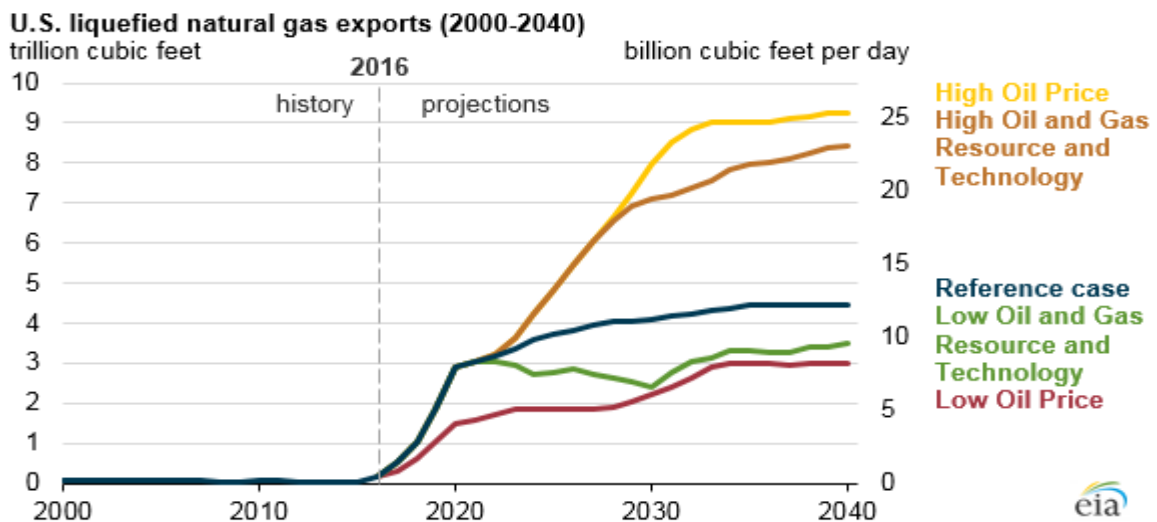
Εικόνα 6-26: Το εμπόριο φυσικού αερίου στις ΗΠΑ την περίοδο 1980-2040 (EIA, 2017).

Η αύξηση των εξαγωγών φ.α., ιδίως από τους νέους τερματικούς σταθμούς LNG, διατηρεί τη συνεχιζόμενη αύξηση της παραγωγής φ.α. στις ΗΠΑ. Στην περίπτωση αναφοράς (Reference case), η παραγωγή φ.α. αναμένεται να αυξηθεί μέχρι το 2020 περίπου στο ίδιο ποσοστό (ετήσιος μέσος όρος 3,6%), όπως συνέβη το 2005, όταν ξεκίνησε η παραγωγή φ.α. από σχιστολιθικούς σχηματισμούς να αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς. Μετά το 2020, η παραγωγή φ.α. αυξάνεται με χαμηλότερο ρυθμό (1,0% ετήσιος μέσος όρος) στην περίπτωση αναφοράς, καθώς η ανάπτυξη των καθαρών εξαγωγών μετριάζεται, αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση και οι τιμές του φ.α. αυξάνονται με βραδύτερο ρυθμό (Εικόνα 6-27).

Η παραγωγή και το εμπόριο φ.α. διαφέρουν ανάλογα με τις διάφορες παραδοχές για τους πόρους και την τεχνολογία, τη μακροοικονομική ανάπτυξη και τις παγκόσμιες τιμές του πετρελαίου. Στην περίπτωση “High Oil and Gas Resource and Technology case”, οι μεγαλύτερες εκτιμήσεις πόρων φ.α. και η βελτιωμένη τεχνολογία όρυξης γεωτρήσεων οδηγούν σε υψηλότερη εγχώρια παραγωγή φ.α., χαμηλότερες τιμές φ.α. στις ΗΠΑ και κατά συνέπεια σε μεγαλύτερες εξαγωγές φ.α. Το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης του εμπορίου φ.α. προέρχεται από τις εξαγωγές LNG, οι οποίες ανέρχονται σε 8,4 Tcf (23 Bcf/d) το 2040 (Εικόνα 6-28).



Εικόνα 6-27: Παραγωγή, κατανάλωση και εμπόριο φυσικού αερίου σύμφωνα με την περίπτωση αναφοράς του ΑΕΟ2017 (ΕΙΑ, 2017).



Εικόνα 6-28: Εξαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου από τις ΗΠΑ την περίοδο 2000-2040 (ΕΙΑ, 2017).

Ωστόσο, οι εξαγωγές LNG είναι οι υψηλότερες στην περίπτωση όπου οι τιμές πετρελαίου είναι υψηλότερες παγκοσμίως. Στην περίπτωση “High Oil Price”, κατά την οποία οι καταναλωτές απομακρύνονται από τα πετρελαιϊκά προϊόντα και άλλες πηγές ενέργειας γίνονται πιο ευνοϊκές οικονομικά, η παγκόσμια ζήτηση LNG αυξάνεται και οι εξαγωγές LNG των ΗΠΑ ανέρχονται σε 9,2 Tcf ή 25 Bcf /d. Σε σύγκριση με άλλους προμηθευτές LNG, το LNG των ΗΠΑ έχει το πλεονέκτημα των εγχώριων άμεσων τιμών (domestic spot prices) οι οποίες είναι λιγότερο ευαίσθητες στις παγκόσμιες τιμές του πετρελαίου. Αντιστρόφως, σε ένα σενάριο με πιο απαισιόδοξες υποθέσεις για τους πόρους πετρελαίου και φ.α. και την τεχνολογία ή ένα σενάριο με χαμηλές τιμές πετρελαίου παγκοσμίως, οι

εξαγωγές LNG εξακολουθούν να αυξάνονται, αλλά παραμένουν κάτω από τα επίπεδα της περίπτωσης αναφοράς μέχρι το 2040.

6.5.3. Προβλέψεις σχετικά με τις εισαγωγές φυσικού αερίου από τις ΗΠΑ στην Ευρώπη

Σε γενικές γραμμές, η ανάπτυξη νέων ενεργειακών πηγών ωφελεί την Ευρώπη, η οποία είναι ο μεγαλύτερος εισαγωγέας ενέργειας στον κόσμο. Περισσότερο από το ήμισυ (53,2%) της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας των 28 κρατών μελών της ΕΕ προμηθεύεται από εισαγόμενες πηγές. Η ευρωπαϊκή εξάρτηση από τις εισαγωγές φ.α. αυξήθηκε την τελευταία δεκαετία, πάνω από 12%. Σημειωτέον, το προφίλ των εισαγωγών φ.α. των κρατών μελών της ΕΕ έχει ως εξής: το 84% του εισαγόμενου φ.α. προέρχεται από τρεις κυρίως χώρες, 42% από τη Ρωσία, 24% τη Νορβηγία και 18% από την Αλγερία.

Εντός της ΕΕ η εξάρτηση από το εισαγόμενο φ.α. ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανά χώρα. Η Ιταλία καλύπτει το ένα τρίτο των ενεργειακών της αναγκών με εισαγόμενο φ.α., ενώ η Λιθουανία είναι πιο κοντά στο 38%, σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat. Η Γερμανία βρίσκεται ελαφρώς υψηλότερη από τον μέσο όρο της ΕΕ στο 19%, ενώ η Γαλλία βρίσκεται κάτω από 15%. Η Δανία και οι Κάτω Χώρες, από την άλλη πλευρά, είναι εξαγωγείς φ.α. (Bordoff & Houser, 2014). Το 2013, πέντε κράτη μέλη εξαρτώνταν από έναν μόνο εξωτερικό προμηθευτή, τη Ρωσία και πιο συγκεκριμένα τη ρωσική Gazprom για το σύνολο των εισαγωγών φ.α.. Στην περίπτωση της Φινλανδίας και της Εσθονίας, το ποσοστό του φ.α. στο ενεργειακό τους μείγμα είναι αρκετά χαμηλό. Η Λιθουανία πρόσφατα διαφοροποίησε τις εισαγωγές φ.α., ανοίγοντας τερματικό σταθμό LNG και σύντομα εξασφάλισε χαμηλότερη τιμή για το ρωσικό φ.α. Η Λετονία και η Βουλγαρία εισάγουν το 100% του φ.α. τους από τη Ρωσία (Pasquale DE MICCO , 2016).

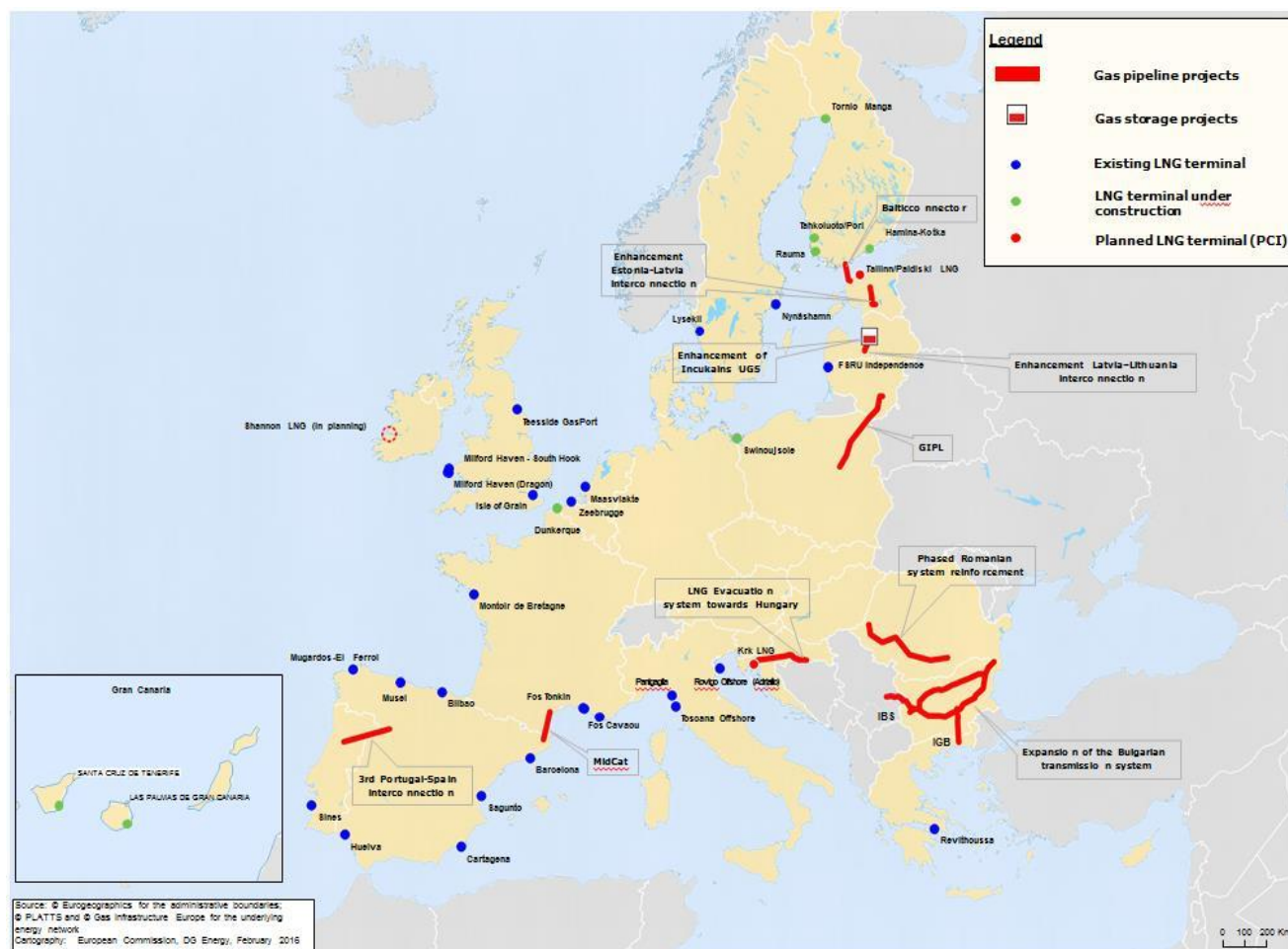
Η νέα ευρωπαϊκή πολιτική για το LNG (βλ. Παράρτημα 2) θα συντελέσουν στην επίτευξη σημαντικής αύξησης των εισαγωγών LNG στην Ευρώπη. Οι εισαγωγές αυτές θα μπορούσαν να φθάσουν τα 83-90 Bcm έως το 2020, με αποτέλεσμα να επιστρέψουν σε επίπεδα κοντά στο 2010/2011. Η ανάκαμψη αυτή εξαρτάται από την αυξημένη ευρωπαϊκή ζήτηση για φ.α. η οποία ξεκίνησε το 2015 και θα μπορούσε να προωθηθεί με την μεγαλύτερη αντικατάσταση του άνθρακα από το φ.α., που κατέστη δυνατή εξαιτίας των χαμηλών τιμών φ.α. και το κλείσιμο παλαιότερων σταθμών παραγωγής άνθρακα. Ωστόσο, εκτός από το Ηνωμένο Βασίλειο (όπου εφαρμόζεται ο φόρος άνθρακα) και την Ιταλία (όπου οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί έχουν επιπτώσεις στους σταθμούς παραγωγής άνθρακα), η αντικατάσταση του

άνθρακα στις άλλες ευρωπαϊκές χώρες θα είναι βαθμιαία, ανάλογα με την αύξηση των τιμών του CO₂, οι οποίες είναι ακόμη πολύ χαμηλές για να ενισχύσουν την αντικατάσταση του άνθρακα. Επιπλέον, ο ανταγωνισμός μεταξύ των προμηθευτών της ευρωπαϊκής αγοράς είναι πιθανό να περιορίσει το μερίδιο του LNG στην ευρωπαϊκή προμήθεια και, ειδικότερα, το LNG των ΗΠΑ. Η στρατηγική των παραδοσιακών προμηθευτών στην Ευρώπη και η στρατηγική της Gazprom ειδικότερα αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για το μερίδιο που θα μπορούσε να αναλάβει το LNG των ΗΠΑ στην Ευρώπη.

Ενώ κατά την περίοδο 2011-2014, η παγκόσμια προσφορά LNG περιοριζόταν από ανεπαρκή ικανότητα υγροποίησης για την κάλυψη της υψηλής ασιατικής ζήτησης που ακολούθησε την καταστροφή της Φουκουσίμα, από τα μέσα του 2014 η κατάσταση αναστράφηκε. Νέες μονάδες υγροποίησης τέθηκαν σε παραγωγή, ενώ η προσφορά μειώθηκε. Το 2015, η ζήτηση από την Ασία, η οποία εισάγει σχεδόν τα τρία τέταρτα του συνολικού όγκου του LNG, υποχώρησε. Έτσι, η Ευρώπη ήταν η κύρια κινητήρια δύναμη της αύξησης του διεθνούς εμπορίου LNG που έφθασε τα 323 Bcm το 2015. Μετά την πτώση κατά 50% μεταξύ 2011 και 2014, οι ευρωπαϊκές εισαγωγές αυξήθηκαν κατά 12% το 2015 στα 50 bcm.

Από το 2014, η πριμοδότηση που καταβάλλεται από την Ασία μειώθηκε απότομα ενώ κατέληξε εξαλείφθηκε πλήρως το 2016. Το 2015/16, οι τιμές spot LNG που πωλήθηκαν στην Ασία συγκλίνουν προς τις ευρωπαϊκές τιμές spot market και μειώθηκαν σε σχεδόν \$4 / MMBtu τον Απρίλιο του 2016. Η πτώση των τιμών στην Ασία οδήγησε στη βελτίωση της ελκυστικότητας του ευρωπαϊκού χώρου για τους εξαγωγείς LNG στην περιοχή του Ατλαντικού και στην εξάλειψη του οικονομικού κινήτρου για την αναδρομολόγηση φορτίων προς την Ασία (Cornot-Gandolphe, 2016).

Οι υπάρχουσες και προγραμματισμένες επενδύσεις στις υποδομές εισαγωγής LNG παρουσιάζονται στον ακόλουθο χάρτη (Εικόνα 6-29).



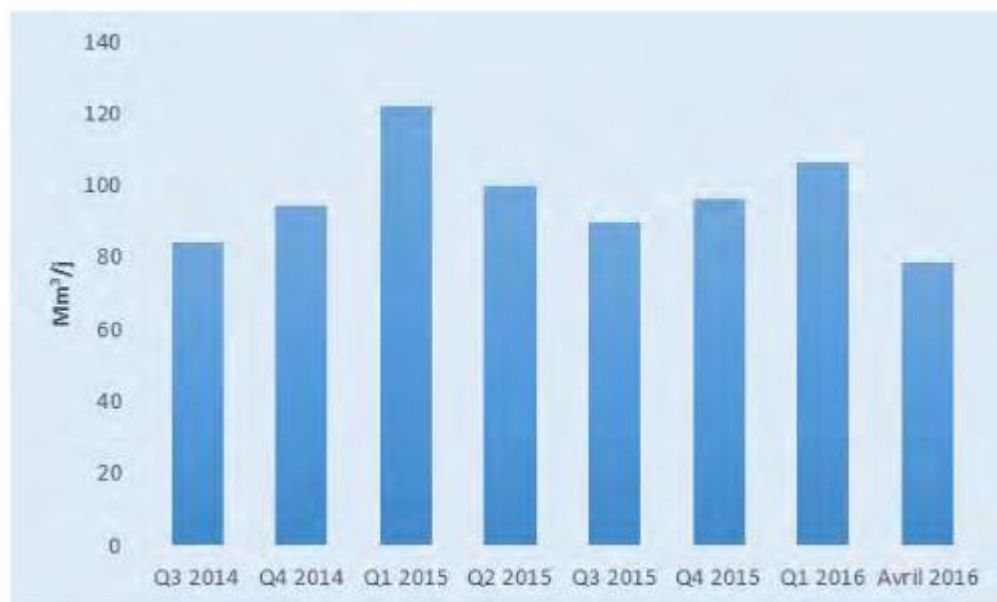
Εικόνα 6-29: Υποδομές υδροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) στην Ευρώπη (European Commission, 2016).

Η στρατηγική LNG και αποθήκευσης φ.α. παρουσίασε ένα υποσύνολο έργων, τα οποία θα επιτρέπουν σε όλα τα κράτη μέλη την πρόσβαση στο LNG είτε μέσω τερματικών σταθμών είτε έμμεσα μέσω διασυνδέσεων ή / και πρόσβασης σε κόμβους διακίνησης υγρών (liquid hubs). Τα έργα αυτά δύναται να επιφέρουν πραγματική ασφάλεια φ.α. και ανταγωνισμό τιμών στις αγορές της ΕΕ. Πιο συγκεκριμένα:

- Η ομάδα της CESEC (Central East Europe Connectivity Group) προσδιόρισε έξι βασικά έργα προτεραιότητας που συμβάλλουν στην πρόσβαση σε LNG για όλες τις χώρες της περιοχής κατά μήκος δύο βασικών διαδρόμων από τον τερματικό σταθμό Krk προς ανατολάς και από την Ελλάδα προς τα βόρεια.
- Η ομάδα σχεδιασμού διασύνδεσης της αγοράς ενέργειας της Βαλτικής (BEMIP - Baltic Energy Market Interconnection Plan) εντόπισε έξι βασικά έργα προτεραιότητας που συμβάλλουν στην πρόσβαση στο LNG και την αποθήκευση στην περιοχή, συνδέοντας τα τρία κράτη της Βαλτικής και τη Φινλανδία με το ευρωπαϊκό δίκτυο.

- Η ομάδα υψηλού επιπέδου της Νοτιοδυτικής Ευρώπης (South-West Europe high level group) εντόπισε δύο σχέδια που θα χρησιμεύσουν για την εξάλειψη των σημείων συμφόρησης (eliminate bottlenecks) και για τη σύνδεση των περιφερειακών αγορών (European Commission, 2016).

Οι νέοι και οι υφιστάμενοι τερματικοί σταθμοί LNG στην Ευρώπη παρέχουν τη δυνατότητα διαφοροποίησης των εισαγωγών φ.α., προμηθευόντάς τους όχι μόνο από τις ΗΠΑ, αλλά και από νέους και δυνητικούς εξαγωγείς, όπως η Αυστραλία, το Ιράν, το Κατάρ, η Τανζανία, η Αγκόλα και η Μοζαμβίκη. Ως εκ τούτου, οι ποσότητες LNG που εισήχθησαν στην Ευρώπη κατά το πρώτο τρίμηνο του 2016, υποχώρησαν ελαφρά σε σχέση με την ίδια περίοδο το 2015 και η εισροή ρωσικού και νορβηγικού φ.α. σε χαμηλές τιμές ενδέχεται να παρατείνει αυτή την κατάσταση. Η Εικόνα 6-30 δείχνει τις ημερήσιες εισαγωγές LNG από τους ευρωπαϊκούς τερματικούς σταθμούς. Μετά την απότομη αύξηση τους στα τέλη του 2014 και στις αρχές του 2015, αυτές σταθεροποιήθηκαν και άρχισαν να μειώνονται σε σχέση με την κορυφή του πρώτου τριμήνου του 2015. Σημειωτέον, εάν οι τιμές μειωθούν περαιτέρω, οι εγκαταστάσεις LNG και οι δεξαμενές θα χρησιμοποιηθούν περισσότερο για κερδοσκοπία (με την αποθήκευση φ.α. μέχρι την άνοδο των τιμών) παρά για τη συμβολή στην ενεργειακή ασφάλεια.



Εικόνα 6-30: Ημερήσιες εισαγωγές LNG από τους τερματικούς σταθμούς στην Ευρώπη την περίοδο 2014-2016.

Η κατασκευή νέων τερματικών σταθμών LNG στην ΕΕ ενισχύει τις μακροπρόθεσμες προοπτικές εξαγωγών φ.α. από τις ΗΠΑ προς την Ευρώπη. Ωστόσο, πρέπει να πληρούνται

δύο εμπορικές προϋποθέσεις, προκειμένου το εμπόριο υγροποιημένου φ.α. των ΗΠΑ με την ΕΕ να ευδοκιμήσει: οι τιμές που καταβάλλουν οι ευρωπαίοι αγοραστές για το φ.α. των ΗΠΑ πρέπει να είναι ανταγωνιστικές με τις τιμές του ρωσικού φ.α., οι οποίες σήμερα είναι χαμηλότερες. και οι τιμές που οι αμερικανικές εταιρείες εισπράττουν από την πώληση φ.α. στην ΕΕ πρέπει να είναι αρκετά ελκυστικές και συγκρίσιμες με τις ασιατικές τιμές, οι οποίες είναι σήμερα υψηλότερες.

Εν πάσει περιπτώσει, προκειμένου το αμερικανικό φ.α. να έχει μακροπρόθεσμο αντίκτυπο στην Ευρώπη, απαιτείται συγκρίσιμη κερδοφορία μεταξύ Ευρώπης και Ασίας, βάσει συγκρίσιμων μακροπρόθεσμων τιμών του φ.α., κόστους μεταφοράς, κόστους επεξεργασίας και κόστους των υποδομών. Οι πρόσφατες τάσεις δείχνουν ότι οι τιμές συγκλίνουν, με τις τιμές της Ασίας να παραμένουν υψηλότερες από τις τιμές της ΕΕ, αλλά μειώνονται προοδευτικά.

Πίνακας 6-6: Σύγκριση εκτιμώμενων τιμών εκφόρτωσης⁶ (landed prices) για το LNG της Βόρειας Αμερικής, της Ευρώπης και της Ασίας τον Ιούλιο του 2013 και τον Δεκέμβριο του 2015 (σε USD/MMBtu)

		July 2013	December 2015
North America	<i>Cove Point (USA)</i>	3.98	5.17
	<i>Lake Charles(USA)</i>	3.62	1.98
Europe	<i>Spain</i>	10.20	6.09
	<i>Belgium</i>	9.68	5.17
	<i>UK</i>	9.58	5.40
Asia	<i>Korea</i>	14.50	7.16
	<i>Japan</i>	14.50	7.16
	<i>China</i>	14.10	7.01
	<i>India</i>	13.40	7.16

Με τις τιμές του φ.α. στα σημερινά χαμηλά επίπεδα, η εισαγωγή LNG από τις ΗΠΑ είναι απίθανο να είναι εμπορικά βιώσιμη για την Ευρώπη βραχυπρόθεσμα, εκτός αν είναι σε θέση να ανταγωνιστεί άλλες πηγές LNG και φ.α μέσω αγωγών (piped gas).

⁶ Οι τιμές για τις εισαγωγές LNG αναφέρονται ως «εκφορτωμένες (landed)», που ορίζονται ως εισερχόμενες στο τερματικό σταθμό, ή «tailgate», που ορίζονται ως μετά από την επανεριοποίηση στο τερματικό σταθμό.

Το LNG των ΗΠΑ θα καταστεί ανταγωνιστικό στην Ευρώπη μόνο όταν οι τιμές του πετρελαίου επιστρέψουν σε περίπου 60-70 δολάρια ανά βαρέλι, σύμφωνα με τον Claudio Steuer, Διευθυντή της SyEnergy, βρετανικός σύμβουλος ενέργειας που επικεντρώνεται στη στρατηγική και τις εμπορικές υποθέσεις οι οποίες αφορούν τις αλυσίδες αξίας φ.α. και LNG. Στις τρέχουσες χαμηλές τιμές αναφοράς (benchmarks prices) πετρελαίου και φ.α., οι παραδοσιακές και οι νέες ευρωπαϊκές συμβάσεις προμήθειας φ.α. προσφέρουν χαμηλότερες τιμές από τις εισαγωγές υγροποιημένου φ.α. από τις ΗΠΑ και οι παραδόσεις LNG στην Ευρώπη αναμένεται να είναι πολύ χαμηλότερες από τις αρχικές προβλέψεις (trend, 2017).

Ωστόσο, στρατηγικές εκτιμήσεις, όπως η μείωση της εξάρτησης της ΕΕ από το ρωσικό φ.α. και η ανάγκη διαφοροποίησης των προμηθευτών, μπορεί μερικές φορές να εξηγήσουν τις ενεργειακές επενδύσεις εκτός των συνθηκών της αγοράς, όπως στην περίπτωση του νέου τερματικού σταθμού LNG που κατασκευάστηκε από τη Λιθουανία. Εν προκειμένου, η μετατόπιση της Λιθουανίας στην εισαγωγή LNG αποδείχθηκε αργότερα ακριβότερη από την εισαγωγή φ.α. από τη Ρωσία μέσω δικτύου αγωγών. Η ρωσική εταιρεία Gazprom προσέφερε στη Λιθουανία μειωμένες τιμές αφού άρχισε να εισάγει LNG από τη Νορβηγία. Το εν λόγω γεγονός ανάγκασε τη Λιθουανία να ζητήσει την επαναδιαπραγμάτευση των όρων της σύμβασης LNG με τη νορβηγική Statoil (LNG World News, 2015).

Κατά την εξέταση των προοπτικών εισαγωγής LNG από τις ΗΠΑ, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι χαμηλότερες τιμές του φ.α. που μεταφέρεται μέσω αγωγών (ripped gas) από τη Ρωσία, καθώς και οι υψηλότερες τιμές του φ.α. στην αγορά της Ασίας. Ενώ οι τιμές εισαγωγής LNG στην Ευρώπη πλησιάζουν τις τιμές των φ.α. στη Ρωσία, το κόστος παραγωγής και μεταφοράς της Ρωσίας είναι σημαντικά χαμηλότερο και θα μπορούσε να μειώσει περαιτέρω την τιμή του φ.α.. Λόγω των αλλαγών στην αγορά, η Gazprom είχε ήδη προβλέψει τη μείωση της τιμής του φ.α. κατά 40% στην Ευρώπη το 2015 (Forbes, 2015). Αυτό είναι ό,τι συνέβη στην προαναφερθείσα περίπτωση της Λιθουανίας.

Δεύτερον, οι προβλέψεις της ευρωπαϊκής ζήτησης για LNG διέπονται από ασάφεια. Έχουν αναπτυχθεί τουλάχιστον δύο σενάρια: ένα σενάριο υψηλής ζήτησης αναμένει ότι η ζήτηση LNG θα αυξηθεί σημαντικά (42%) τα επόμενα 10 χρόνια, φθάνοντας τα 113 Bcm, ως συνέπεια της μειούμενης χρήσης άνθρακα στην ΕΕ. Η Αυστραλία και οι ΗΠΑ καλύπτουν το 90% της ζήτησης LNG, ενώ η κατανάλωση φ.α. στη Ρωσία δεν θα μειωθεί σημαντικά, και ένα σενάριο χαμηλής ζήτησης, από την άλλη πλευρά, προβλέπει μικρότερη αύξηση των εισαγωγών φ.α. λόγω αβεβαιότητας και της χαμηλής οικονομικής ανάπτυξης (Euractiv, 2015).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Συμπερασματικά, οι ΗΠΑ δεν μπορούν να λειτουργήσουν ως εναλλακτικός προμηθευτής φ.α. για την Ευρώπη βραχυπρόθεσμα, κυρίως λόγω της έλλειψης τερματικών σταθμών εξαγωγής LNG και των χαμηλών τιμών που θα φέρει το LNG. Οι μακροπρόθεσμες προοπτικές είναι πιο ελπιδοφόρες καθώς οι εξαγωγικές δυνατότητες LNG των ΗΠΑ αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά την επόμενη δεκαετία.

6.5.3.1. Το LNG των ΗΠΑ αποτελεί πιθανή απειλή για την Gazprom

Οι εξαγωγές LNG των ΗΠΑ οδηγούν σε αυξημένο ανταγωνισμό στην ευρωπαϊκή αγορά σε μια εποχή που ήδη βρίσκεται σε πλεόνασμα. Η κατανάλωση φ.α. της ΕΕ (427 Bcm το 2015) είναι χαμηλότερη κατά περισσότερο από 100 Bcm σε σχέση με το 2010, αν και αυξήθηκε και πάλι το 2015 (+ 4,5%). Η μείωση που παρατηρήθηκε μεταξύ του 2010 και του 2014 οφείλεται κυρίως στη μείωση της κατανάλωσης στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, ενόψει της χαμηλής ζήτησης για ευρωπαϊκή ηλεκτρική ενέργεια, του ανταγωνισμού με τον άνθρακα και της αύξησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Aoun & Carnot-Gandolphe, 2015).

Για τους προμηθευτές στην ΕΕ, μέρος της μείωσης της ζήτησης αντισταθμίστηκε από τη μείωση της ευρωπαϊκής παραγωγής φ.α., ιδιαίτερα στην Ολλανδία (Groningen) και στο Ηνωμένο Βασίλειο. Επιπλέον, η μείωση των εισαγωγών LNG βοήθησε τους εξαγωγείς φ.α. μέσω αγωγών (pipeline exporters) να διατηρήσουν τα επίπεδα των εξαγωγών τους. Έτσι, ενώ το μερίδιο του LNG στην προσφορά της ΕΕ μειώθηκε από 15% το 2010 σε 10% το 2015, το ποσοστό των εισαγωγών μέσω αγωγών (pipeline imports) αυξήθηκε από 48% σε 61%. Οι ετήσιες εξαγωγές από τη Ρωσία στην ΕΕ κυμάνθηκαν μεταξύ 110 και 130 Bcm κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου.

Αλλά η παραπάνω κατάσταση θα μπορούσε να αλλάξει. Το LNG των ΗΠΑ αποτελεί δυνητική απειλή για τη Ρωσία, τον κύριο προμηθευτή της ΕΕ. Η ικανότητα των ευρωπαϊκών κόμβων (European hubs) να απορροφούν το πλεόνασμα LNG καθορίζεται κυρίως από τη δυνατότητα του LNG να αντικαταστήσει τους ευέλικτους όγκους μακροπρόθεσμων συμβάσεων (flexible volumes of long-term contract), ιδίως από τη Ρωσία των οποίων οι συμβάσεις είναι άκρως σημαντικές.

6.5.4. Πόσο ανταγωνιστικό είναι το LNG των ΗΠΑ έναντι του ρωσικού φυσικού αερίου;

Ο κύριος ανταγωνιστής του ρωσικού φ.α. - όσον αφορά τον όγκο, τις τιμές και τις γεωπολιτικές επιπτώσεις - είναι το LNG των ΗΠΑ. Οι Η.Π.Α. έχουν γίνει ο μεγαλύτερος παραγωγός φ.α. παγκοσμίως, μπροστά από τη Ρωσία, και είναι πλέον ο μεγαλύτερος παραγωγός πετρελαίου. Το Κατάρ έχει μεγαλύτερο ρόλο τώρα από ό, τι οι Η.Π.Α. θα έχουν μέχρι το 2020 στις παγκόσμιες αγορές LNG αλλά η γεωπολιτική αντιπολίτευση στη Ρωσία απουσιάζει εκεί: η χώρα αυτή δεν προήγαγε ποτέ την ιδέα της «μείωσης της εξάρτησης της Ευρώπης από το ρωσικό φ.α. για λόγους ασφάλειας του εφοδιασμού».

Τα έργα των ΗΠΑ εγκρίθηκαν με την άποψη ότι το προκύπτον LNG θα ήταν πιο ανταγωνιστικό από το φ.α. της Ασίας, το οποίο προσαρμόζεται σύμφωνα με τον δείκτη του πετρελαίου (oil indexed gas) και θα έφτανε περιστασιακά στην Ευρώπη ανάλογα με τη διαφορά τιμών και τη βελτιστοποίηση του χαρτοφυλακίου (portfolio) μεταξύ Ασίας και Ευρώπης. Οι τιμές LNG των ΗΠΑ βασίζονται στις άμεσες τιμές Henry Hub (HH) και όχι στην τιμαριθμική αναπροσαρμογή του πετρελαίου. Οι τύποι τιμών για το LNG της Cheniere έχουν ως εξής:

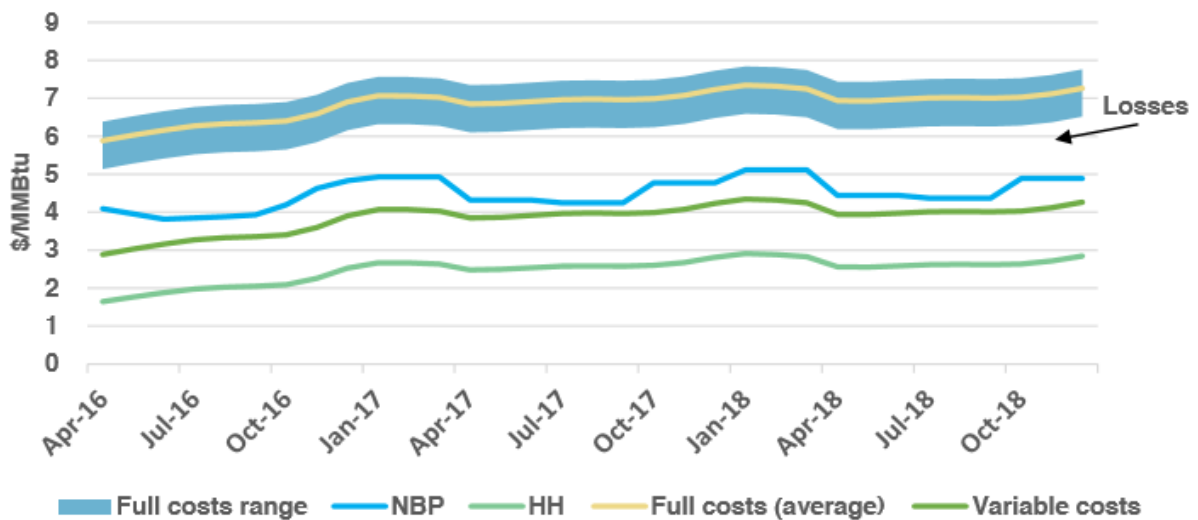
$$\text{Gas price} = 115 \text{ percent} * \text{HH} + \text{liquefaction fee} + \text{transport/regas}$$

Τα δύο πρώτα στοιχεία δίνουν την τιμή στην οποία ο αποστολέας (offtaker) θα αγοράσει το LNG από τη Cheniere. Η δαπάνη υγροποίησης ποικίλει ανάλογα με τις συμβάσεις από \$2.25/MMBtu έως \$3.5/MMBtu, αν και για τους περισσότερους αποστολείς είναι \$3/MMBtu. Τα έξοδα μεταφοράς και επαναεριοποίησης εξαρτώνται από το πού βρίσκεται η αγορά. Με τις τιμές του φ.α. που επικρατούν από το 2016 στην Ευρώπη, οι παραγωγοί LNG των ΗΠΑ ζημιώνονται. Με βάση την τιμή HH των \$2/MMBtu και χρησιμοποιώντας τον τύπο της Cheniere, το LNG θα φθάσει στην Ευρώπη στην τιμή περίπου των \$5,55/MMBtu και στην Ασία \$6,55/MMBtu. Αυτό συγκρίνεται με τις τιμές του UK NBP (National Balancing Point)⁷ στα \$4,6/MMBtu τον Ιούλιο του 2016 και τις ασιατικές τιμές spot στα \$5,5/MMBtu. Κάθε διαφορά \$1 σημαίνει ότι ένας αποστολέας (offtaker) LNG των Η.Π.Α. θα χάσει 49 εκατομμύρια δολάρια για κάθε συμβόλαιο που συνάπτεται σε ετήσια βάση (KAPSARC, 2016). Στο μέλλον, οι αποστολείς LNG των ΗΠΑ θα αντιμετωπίσουν δύο επιλογές: είτε να διαθέσουν το LNG στην αγορά, αλλά με πιθανές απώλειες, είτε να

⁷Το National Balancing Point, κοινώς ονομαζόμενο NBP, είναι ένας εικονικός τόπος συναλλαγών για την πώληση και αγορά και την ανταλλαγή φυσικού αερίου του Ηνωμένου Βασιλείου. Είναι το σημείο τιμολόγησης και παράδοσης για τα μελλοντικά συμβόλαια φυσικού αερίου της ICE Futures Europe (Intercontinental Exchange).

θεωρήσουν το κόστος της υγροποίησης και, ενδεχομένως, το κόστος της μεταφοράς (shipping cost) ως μη ανακτήσιμα (sunk costs). Εάν οι ασιατικές και οι ευρωπαϊκές spot τιμές συγκλίνουν, οι περισσότερες εταιρείες διαχείρισης των Η.Π.Α. θα προτιμούσαν να στείλουν LNG στην Ευρώπη, καθώς θα σήμαινε χαμηλότερες απώλειες λόγω των μικρότερων αποστάσεων μεταφοράς. Οι αγοραστές της Ασίας, με τις πωλήσεις στην εγχώρια αγορά τους καλούνται να αντιμετωπίσουν την απελευθέρωση της αγοράς στην Ιαπωνία, γεγονός που σημαίνει ότι είναι απίθανο να ανακτήσουν το πλήρες κόστος τους. Αν η δαπάνη υγροποίησης \$ 3/MMBtu θεωρηθεί ως μη ανακτήσιμο κόστος (sunk cost), αυτό ισοδυναμεί με απώλεια 147 εκατομμυρίων δολαρίων ετησίως για κάθε συμβαλλόμενο.

Εξετάζοντας τις καμπύλες προς τα εμπρός του HH και της NBP του Ηνωμένου Βασιλείου και υπολογίζοντας το θεωρητικό μεταβλητό κόστος του αμερικανικού LNG, φαίνεται ότι η NBP υπερβαίνει αυτή την τιμή, έτσι ώστε με την πώληση στην αγορά του Ηνωμένου Βασιλείου οι αποστολές των LNG των ΗΠΑ θα ανακτήσουν όχι μόνο το μεταβλητό τους κόστος, αλλά και μέρος των δαπανών υγροποίησης (Εικόνα 6-31). Ακόμη και κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου, η NBP εξακολουθεί να είναι υψηλότερη από το μεταβλητό κόστος LNG των Η.Π.Α., γεγονός που δείχνει ότι δεν θεωρείται ως οριακή πηγή προμήθειας. Οι απώλειες (losses) απεικονίζονται από τη διαφορά μεταξύ της μπλε γραμμής (NBP) και του εύρους του πλήρους κόστους που απεικονίζεται από την μπλε περιοχή. Η κίτρινη γραμμή αντιπροσωπεύει ένα μέσο όρο του συνολικού κόστους βάσει μιας δαπάνης υγροποίησης (fee liquefaction) \$3/MMBtu. Στο βαθμό που οι προθεσμιακές τιμές (forward prices) αποτελούν αξιόπιστο δείκτη, οι μέσες απώλειες κατά το 2017 και 2018 θα είναι περίπου \$2.3/MMBtu (Corbeau & Yermakov, 2016).



Εικόνα 6-31: Μεταβλητό κόστος LNG των ΗΠΑ έναντι της τιμής NBP (Corbeau & Yermakov, 2016).

Η κατάσταση μπορεί να αλλάξει σημαντικά, εάν οι τιμές της αγοράς φ.α. στις ΗΠΑ αυξηθούν από τα σημερινά χαμηλά επίπεδα. Η ετήσια έκθεση της EIA, που δημοσιεύθηκε τον Μάιο του 2016, αναφέρει ότι οι εξαγωγές LNG των ΗΠΑ θα επιβαρύνουν τις εγχώριες τιμές φ.α. και περιγράφουν τις ακόλουθες τιμές δυναμικού αερίου Henry Hub σε ονομαστικούς όρους: \$3.2/MMBtu το 2017, \$3.8/MMBtu το 2018, \$4.3/MMBtu το 2019, και \$4.9/MMBtu το 2020. Η τιμή του πετρελαίου Brent στην ίδια πρόβλεψη φαίνεται να αυξάνεται στα \$ 78,6/bbl.

6.5.5. Η πιθανή στρατηγική άμυνα της Ρωσίας

Η απειλή για τη Ρωσία είναι πολλαπλή: οι μηχανισμοί τιμολόγησης, τα επίπεδα τιμών, το μερίδιο αγοράς και τέλος οι γεωπολιτικές συνέπειες. Δύο βασικά στοιχεία της αμυντικής στρατηγικής που θα υιοθετήσει η Ρωσία στις ευρωπαϊκές αγορές φ.α. θα μπορούσαν να αποτελέσουν ο περιορισμός της ευελιξίας των συμβάσεων της με την Ευρώπη και η τοποθέτηση μεγαλύτερου μέρους του φ.α. σε ευρωπαϊκούς κόμβους με σκοπό να αντεπιτεθούν σε εναλλακτικούς προμηθευτές.

Εστιάζοντας στο στοιχείο της τιμολόγησης (price element), η Gazprom θα μπορούσε να εξετάσει διαφορετικές στρατηγικές. Πρώτον, να συνεχίσει να προσαρμόζει τα στοιχεία τιμολόγησης των συμβάσεων με σκοπό να ευθυγραμμίσει την τιμή της σύμβασης (contract price) με την τιμή spot του φ.α., αν και δεν είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή. Αυτό θα αποτελούσε συνέχεια της προηγούμενης συμπεριφοράς της Ρωσίας και θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι παραμένει ως ευέλικτος προμηθευτής της Ευρώπης. Δεύτερον, να προχωρήσει σε τιμαριθμική αναπροσαρμογή (hub indexation) - κάτι που έχει γίνει σε κάποιο βαθμό, καθώς το 12,7% των ευρωπαϊκών εξαγωγών της Gazprom είναι τιμή φ.α. με δείκτη spot (spot-indexed gas). Πρόκειται για ριζική απομάκρυνση από το επιχειρηματικό μοντέλο της εταιρείας, καθώς προτιμά τη σύνδεση με τις τιμές του πετρελαίου (oil linkage). Τρίτον, μια επιθετική τακτική για την προάσπιση του μεριδίου της στην αγορά αποτελεί η πρακτική dumping⁸ για σημαντικές ποσότητες στις spot αγορές, αφήνοντας τις τιμές να μειωθούν και προσπαθώντας να αναχαιτίσουν το LNG των ΗΠΑ, ειδικά εάν οι τιμές spot μειωθούν λίγο κάτω από το μεταβλητό κόστος του LNG των ΗΠΑ.

Σε ένα σενάριο υπερπροσφοράς φ.α., οι άμεσες τιμές (spot prices) ενδέχεται να παραμείνουν χαμηλές, ενδεχομένως σε ακόμη χαμηλότερα επίπεδα από τα σημερινά \$ 4-5 / MMBtu στην

⁸ Ως dumping νοείται η πώληση ενός προϊόντος σε μια εξαγωγική αγορά σε τιμή χαμηλότερη από την κανονική αξία του (ήτοι από τις τιμές πώλησης που ισχύουν στην εγχώρια αγορά του εξαγωγέα ή από το κόστος παραγωγής του με την προσθήκη εύλογου περιθωρίου κέρδους).

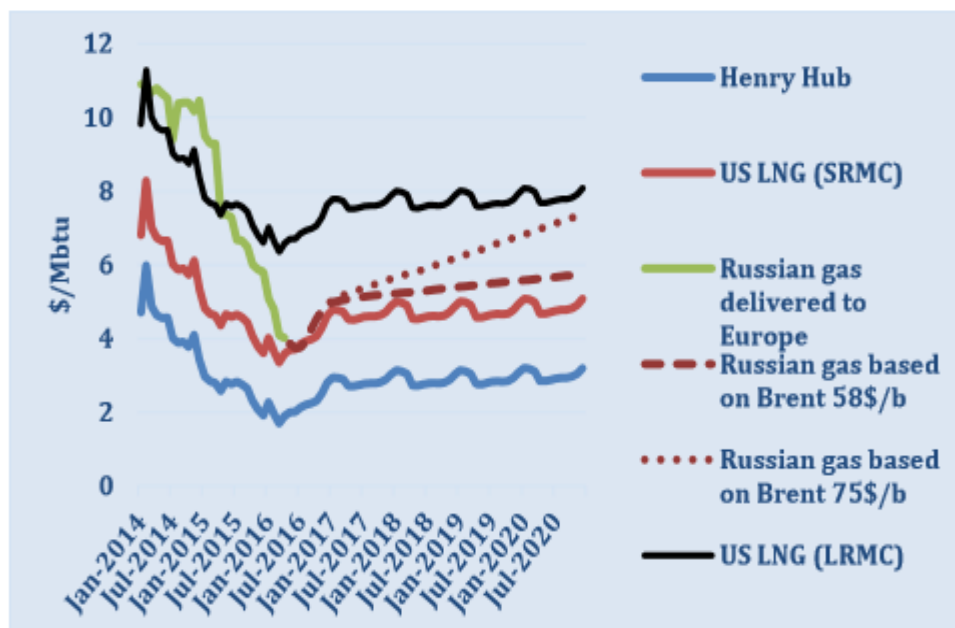
Ευρώπη και την Ασία. Οι υψηλότερες τιμές πετρελαίου ενδέχεται να μην οδηγήσουν σε υψηλότερες ευρωπαϊκές τιμές spot. Εν τω μεταξύ, οι τιμές των συμβάσεων ενδέχεται να λειτουργούν ως ανώτατο όριο για τις τιμές spot. Μια τέτοια κατάσταση δημιουργήθηκε το 2009, καθώς η προσφορά LNG άρχισε να πλημμυρίζει τις αγορές φ.α. ενώ η ζήτηση μειώθηκε εξαιτίας της ύφεσης. Όταν οι τιμές του πετρελαίου ανέκαμψαν, οι άμεσες τιμές της NBP παρέμειναν χαμηλές μέχρι τα μέσα του 2010. Σε ένα περιβάλλον με χαμηλές τιμές πετρελαίου (<\$40/bbl), οι τιμές του φ.α. που αναπροσαρμόζονται με βάση το πετρέλαιο (oilindexedgasprices) στη Ρωσία θα είναι περίπου \$4-5/MMBtu, σχετικά με τις τιμές spot, αλλά όταν οι τιμές του πετρελαίου ανακάμπτουν σταθερά πάνω από \$50/bbl, πιθανότατα θα προκύψει ένα χάσμα μεταξύ των τιμών του φ.α. της Ρωσίας με τιμαριθμική αναπροσαρμογή του πετρελαίου και των τιμών spot. Το γεγονός αυτό, θα μπορούσε να θέσει τη Ρωσία στη θέση του οριακού προμηθευτή (marginal supplier) και να δυσχεράνει τον ανταγωνισμό έναντι της προσφοράς LNG, το οποίο πωλείται σε τιμές spot (spot indexed prices).

Η **πρώτη επιλογή** πιθανόν να μην περιορίσει τους εξαγωγείς LNG των Η.Π.Α., εφόσον οι αποστολείς (offtakers) των ΗΠΑ είναι σε θέση να ανακτήσουν το μεταβλητό τους κόστος. Καθώς η Gazprom δεν θα προσπαθήσει να δράσει στα επίπεδα των τιμών, οι Ευρωπαίοι αγοραστές θα επιλέξουν να λάβουν τις ελάχιστες ποσότητες του ακριβότερου ρωσικού φ.α. σύμφωνα με τις συμβάσεις αντί να αγοράσουν το φθηνότερο LNG με δείκτη spot (spot-indexed LNG). Οι αποστολείς LNG των ΗΠΑ θα εξακολουθούν να υφίστανται απώλειες, αλλά θα έχουν την δυνατότητα να εξάγουν. Η απώλεια μεριδίου αγοράς για τη Ρωσία θα εξαρτηθεί από τις επιλογές των αγοραστών όσον αφορά τις προμήθειες και τον τρόπο σύγκρισης της τιμής του ρωσικού φ.α. με τις ευρωπαϊκές τιμές spot. Αν η Gazprom εφαρμόσει αυτή τη στρατηγική, στην περίπτωση χαμηλής προσφοράς LNG, το αποτέλεσμα θα μπορούσε να είναι η αύξηση των εσόδων. Ωστόσο, στα σενάρια με υψηλότερους όγκους LNG, η πιθανή απώλεια των ρωσικών εξαγωγών συνεπάγεται μείωση των εσόδων και διεύρυνση εναλλακτικών προμηθευτών στην Ευρώπη σε μόνιμη βάση.

Η **δεύτερη επιλογή** θα ήταν ήδη σημαντική απόκλιση από τη στρατηγική της Gazprom, ακόμη και αν υπήρχαν ενδείξεις ότι η Gazprom θα πωλούσε αυξανόμενες ποσότητες φ.α. σε κόμβους διακίνησης (hubs). Αυτό θα μπορούσε να συνδυαστεί με την άρση της ευελιξίας στις μακροπρόθεσμες συμβάσεις. Τόσο το ρωσικό όσο και το αμερικανικό φ.α. θα πωλούνταν στη συνέχεια σε hubs prices και το αποτέλεσμα θα μπορούσε να ποικίλει σημαντικά ανάλογα με τα portfolios των αγοραστών και τη σχέση τους με τη Ρωσία και τους offtakers LNG των ΗΠΑ. Αν αυξηθεί ο όγκος του LNG των Η.Π.Α. και θα

προσφέρεται με μεταβλητό κόστος, κάτω από τις τιμές spot, οι τιμές αυτές πιθανόν θα είναι χαμηλότερες από τις ρωσικές εξαγωγές. Όσο περισσότερο αυξάνεται η τιμή του πετρελαίου, τόσο μεγαλύτερο θα είναι το χάσμα μεταξύ των τιμών spot και των τιμών εξαγωγής της Ρωσίας, αυξάνοντας έτσι την απώλεια των τιμών της Gazprom.

Η **τρίτη επιλογή** θα ήταν ένας αποτελεσματικός πόλεμος τιμών (war price), με τη Ρωσία να διασφαλίζει ότι η τιμή της σύμβασης θα καθοριζόταν σε επίπεδα που θα αποθάρρυναν το LNG των ΗΠΑ ή θα έριχναν συστηματικά πρόσθετους όγκους φθηνού φ.α. σε ευρωπαϊκούς κόμβους μέσω πλειστηριασμών (through auctions). Το φ.α. που φθάνει μέσω του αγωγού Nord Stream δεν θα συνδέεται με μακροπρόθεσμη σύμβαση ούτε θα είναι δαπανηρό και συνεπώς θα είναι σύμφωνο με τους κανόνες και τους στόχους της ΕΕ. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το πρόβλημα από τη θέση της Ρωσίας και τα \$ 4,4 / MMBtu ως η ελάχιστη τιμή με την οποία η Ρωσία θα ήταν πρόθυμη να πουλήσει το φ.α. στην Ευρώπη, αυτό θα σήμαινε μία τιμή Henry Hub κοντά στα \$3 / MMBtu αν το LNG των Η.Π.Α. πωλείται με μεταβλητό κόστος. Η Ρωσία θα μπορούσε ενδεχομένως να θέσει την τιμή της ακόμη χαμηλότερα, σε \$ 3,1 / MMBtu, εγκαταλείποντας το 30% του φόρου των εξαγωγών. Η μόνη εταιρεία που θα μπορούσε να ωφεληθεί από το περιβάλλον χαμηλών τιμών πετρελαίου θα ήταν η Cheniere, εάν επρόκειτο να πουλήσει φορτία (unlifted cargoes) για τα οποία έχει ήδη λάβει τα τέλη υγροποίησης. Σε κάθε περίπτωση, οι offtakers LNG των Η.Π.Α. ενδέχεται να αντιμετωπίσουν σημαντικές απώλειες και είναι αμφίβολο πόσο καιρό θα μπορέσουν να διατηρήσουν αυτή την κατάσταση. Σε περίπτωση που μια εταιρεία αποφασίσει ότι δεν μπορεί να καταβάλει ένα τέλος υγροποίησης της τάξης των \$ 3/MMBtu και να διαπραγματευτεί χαμηλότερο τέλος, τότε οι συμβάσεις των Η.Π.Α. θα καταρρεύσουν. Είναι αξιοσημείωτο ότι δεν υπάρχουν ρήτρες επανεξέτασης ή αναθεώρησης των τιμών στις συμβάσεις του LNG των ΗΠΑ που είναι επί του παρόντος στο δημόσιο τομέα. Εν πάσει περιπτώσει, ένα τέτοιο σενάριο θα προκαλούσε σημαντικές οικονομικές δυσχέρειες στους προμηθευτές LNG των ΗΠΑ. Ωστόσο, καθώς οι τιμές του πετρελαίου ανακάμπτουν, το κόστος παράδοσης ρωσικού φ.α. μέσω αγωγού στην Ευρώπη μπορεί να αυξηθεί. Επιπλέον, όσο αυξάνεται η τιμή του πετρελαίου, τόσο μεγαλύτερο θα είναι το χάσμα μεταξύ των μειωμένων τιμών spot και της αρχικής τιμής του ρωσικού φ.α., γεγονός που θα καθιστούσε τη Ρωσία πιο επιφυλακτική στην έναρξη μιας τέτοιας κίνησης (Corbeau & Yermakov, 2016).



Assumptions:

Short-run marginal cost (SRMC) and long-run marginal cost (LRMC) of US LNG based on the Henry Hub futures of 20 May 2016

Russian price (dash) based on the Brent futures of 20 May 2016 (\$58 /b in December 2020)

Russian price (dotted) based on oil price increasing to \$75 /b in December 2020.

Εικόνα 6-32: Πιθανή εξέλιξη των τιμών φυσικού αερίου της Ρωσίας και του κόστους LNG των ΗΠΑ (Cornot-Gandolphe, 2016).

Η εικόνα 6-32 δείχνει ότι με την αύξηση της τιμής του αργού πετρελαίου στα \$58/b έως τα τέλη του 2020 (και ακόμη περισσότερο εάν το αργό πετρέλαιο φτάσει τα \$75/b όπως τα έργα της EIA), το ρωσικό φ.α. με δείκτη πετρελαίου θα γίνει μη ανταγωνιστικό σε σύγκριση με το LNG των ΗΠΑ με βάση το βραχυπρόθεσμο οριακό κόστος (short-run marginal cost). Στην περίπτωση αυτή, θα επωφεληθούν οι ευρωπαίοι αγοραστές μειώνοντας τις αγορές ρωσικού φ.α. στις ελάχιστες μέγιστες ποσότητες και αντικαθιστώντας το με το LNG. Η εικόνα δείχνει επίσης ότι το μακροπρόθεσμο οριακό κόστος των έργων των ΗΠΑ παραμένει υψηλότερο από αυτό του ρωσικού φ.α.. Σε αυτή τη βάση, δεν υπάρχουν οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη νέων έργων LNG στην Ευρώπη (Cornot-Gandolphe, 2016).

6.6. Το LNG των Η.Π.Α. μπορεί να αλλάξει τα δεδομένα (“be the game changer”);

Το LNG των Η.Π.Α. μπορεί να αποτελέσει τον παράγοντα που θα αλλάξει τα δεδομένα (game changer) για την ευρωπαϊκή (και παγκόσμια) αγορά. Έχει σημαντικές συνέπειες για την ασφάλεια του ευρωπαϊκού εφοδιασμού με φ.α. και την ανταγωνιστικότητά του, είτε το LNG εισέλθει στην ευρωπαϊκή αγορά, είτε όχι.

Σε μια αγορά με πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της ευρωπαϊκής και της παγκόσμιας αγοράς LNG, το γεγονός ότι σημαντικές ικανότητες LNG είναι έτοιμες προς εξαγωγή στην Ευρώπη έχουν ως αποτέλεσμα την οριοθέτηση της τιμής του φ.α. (capping the gas price) στην τιμή spot των ΗΠΑ, η οποία αυξάνεται με το κόστος μεταφοράς και επανεριοποίησης (περίπου \$8 θεωρώντας το συνολικό κόστος και \$4 για μεταβλητό κόστος). Το LNG των ΗΠΑ αποτελεί επίσης σημαντική κινητήρια δύναμη για την επαναδιαπραγμάτευση συμβάσεων με τους παραδοσιακούς προμηθευτές υπό ευνοϊκότερες συνθήκες.

Το LNG των ΗΠΑ μπορεί να παρέχει στην Ευρώπη μεγαλύτερη ασφάλεια εφοδιασμού. Η ευρωπαϊκή στρατηγική για το LNG θα πρέπει να ενισχύσει αυτή την ασφάλεια διευκολύνοντας την κατασκευή σχετικών υποδομών (τερματικών εισαγωγής ή αγωγών διασύνδεσης), έτσι ώστε κάθε κράτος μέλος να έχει πρόσβαση σε αυτή την πηγή ενέργειας.

Από εμπορική άποψη, είναι δύσκολο να προβλεφθούν οι όγκοι LNG που θα εξαχθούν στην Ευρώπη. Οι συμβάσεις των ΗΠΑ δεν περιλαμβάνουν ρήτρες προορισμού (destination clauses). Συνεπώς, οι ευρωπαίοι αγοραστές και οι εταιρείες διαχείρισης (aggregators) LNG μπορούν να βελτιστοποιήσουν το χαρτοφυλάκιό τους, το οποίο είναι ακόμη πιο αναγκαίο στο σημερινό χαμηλό επίπεδο τιμών φ.α., καθιστώντας το LNG λιγότερο ελκυστικό από άλλες πηγές εισαγόμενου φ.α. στην Ευρώπη. Ωστόσο, η Ευρώπη παραμένει η τελευταία λύση (last resort) για την πώληση του πλεονάσματος LNG. Ενόψει της αυξανόμενης παγκόσμιας εξαγωγικής ικανότητας και της ασθενούς ζήτησης από τους παραδοσιακούς αγοραστές της Ασίας, το LNG των ΗΠΑ θα πρέπει να μεταφερθεί στην Ευρώπη, ιδίως από το 2018 και μετά.

Η αντίδραση της Gazprom σε αυτόν τον νέο ανταγωνισμό δείχνει ότι ετοιμάζεται να υπερασπιστεί το μερίδιό που κατέχει στην αγορά. Οι χαμηλές τιμές του ρωσικού φ.α., οι οποίες αντικατοπτρίζουν την πτώση των τιμών του αργού πετρελαίου, συμβαδίζουν με τη

στρατηγική αυτή (comfortingwiththisstrategy). Η αύξηση των εξαγωγών και των πωλήσεων με δημοπρασίες (auctioned sales) μειώνει την ανάγκη για πρόσθετες εισαγωγές. Αλλά η άνοδος των τιμών του πετρελαίου θα απαιτήσει αναπροσαρμογή των τιμών και της εμπορικής πολιτικής. Ωστόσο, ένας πόλεμος τιμών δεν μπορεί να είναι αυτοσκοπός ή να διαρκέσει πάρα πολύ καιρό ούτε για τη Gazprom, ούτε για το ρωσικό κράτος. Μια παρατεταμένα χαμηλή τιμή δεν θα ήταν πιο συμφέρουσα για τους πελάτες. Θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση ή ακόμα και την ακύρωση του κινήτρου για επενδύσεις σε νέα έργα και θα προκαλούσε έλλειψη LNG κατά τη στροφή της δεκαετίας, όταν το πλεόνασμα της αγοράς θα έχει απορροφηθεί από την αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση. Αυτός ο κίνδυνος ανεπαρκών επενδύσεων είναι σημαντικός στις τρέχουσες τιμές πετρελαίου και φ.α. και η στρατηγική των παραδοσιακών προμηθευτών φ.α. όσον αφορά την ευρωπαϊκή αγορά θα μπορούσε να τον αυξήσει. Αυτή η δύσκολη κατάσταση απαιτεί τη συνεργασία μεταξύ αγοραστών και παραγωγών LNG για να διασφαλιστεί ότι θα πραγματοποιηθούν οι αναγκαίες επενδύσεις μετά το πρώτο κύμα έργων LNG που βρίσκονται υπό κατασκευή (Cornot-Gandolphe, 2016).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το φυσικό αέριο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο παγκόσμιο ενεργειακό γίγνεσθαι. Αποτελεί το τρίτο καύσιμο, το οποίο αντανακλά το 24% της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας και είναι η δεύτερη ενεργειακή πηγή στην παραγωγή ενέργειας, το οποίο αντιπροσωπεύει μερίδιο της τάξης του 22%.

Το φυσικό αέριο έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα στη μετάβαση σε ένα καθαρότερο ενεργειακό μέλλον λόγω του υψηλού ενεργειακού του περιεχομένου, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών άνθρακα και των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) κατά την καύση σε σχέση με τον άνθρακα και το πετρέλαιο. Το χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα του φυσικού αερίου το καθιστά συνεπώς την επικρατέστερη εναλλακτική λύση στο ενεργειακό ζήτημα.

Τα παγκόσμια βέβαια αποθέματα του φυσικού αερίου παρουσιάζουν συνεχή αύξηση από το 1980 μέχρι και σήμερα, και στο τέλος του 2014, εκτιμήθηκαν σε 187,1 Tcm. Ο μεγαλύτερος όγκος βέβαιων αποθεμάτων φυσικού αερίου εντοπίζεται στη Μέση Ανατολή (42,5%) με την Ρωσία (17,3%) και το Τουρκμενιστάν (9,4%) να βρίσκονται στην δεύτερη και τρίτη θέση αντίστοιχα. Οι μεγαλύτεροι παραγωγοί φυσικού αερίου παγκοσμίως είναι η Ρωσία, οι Ηνωμένες Πολιτείες, ο Καναδάς, το Κατάρ και το Ιράν.

Το φυσικό αέριο 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 την κατάσταση που θα διαμορφωθεί με τη λήψη νέων μέτρων και εφαρμογή νέων 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.

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση νέων πόρων φυσικού αερίου για την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων, οδήγησε στην λεγόμενη επανάσταση του μη συμβατικού φυσικού αερίου (σχιστολιθικού αερίου).

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονιστεί η διαφορά των όρων μεταξύ συμβατικού και μη συμβατικού φυσικού αερίου. Οι πηγές μη συμβατικού φυσικού αερίου διέπονται από χαρακτηριστικά (πορώδες, διαπερατότητα, μηχανισμός παγίδευσης υδρογονανθράκων,

τρόπος εκμετάλλευσης - παραγωγής, συντελεστής απόληψης) τα οποία διαφέρουν από τα αντίστοιχα των συμβατικών ταμιευτήρων φυσικού αερίου. Η βασική διαφορά μεταξύ των συμβατικών και των μη συμβατικών ταμιευτήρων φυσικού αερίου είναι ότι στην πρώτη περίπτωση το μητρικό πέτρωμα διαφέρει από τον ταμιευτήρα, ενώ στη δεύτερη περίπτωση το μητρικό πέτρωμα αποτελεί και τον ταμιευτήρα. Οι ταμιευτήρες συμβατικού φυσικού αερίου χαρακτηρίζονται από υψηλής διαπερατότητας πορώδεις σχηματισμούς, το φυσικό αέριο είναι αποθηκευμένο στους μικρούς χώρους μεταξύ των συνδεδεμένων πόρων, η εκμετάλλευσή του πραγματοποιείται με την παραδοσιακή τεχνολογία των κατακόρυφων γεωτρήσεων και επιτυγχάνεται συντελεστής απόληψης πάνω από το 80% του αρχικού επί τόπου φυσικού αερίου. Εν αντιθέσει, οι ταμιευτήρες μη συμβατικού φυσικού αερίου χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλές τιμές πορώδους και διαπερατότητας, η κατ' όγκο περιεκτικότητα σε φυσικό αέριο του αποθήκευτρου πετρώματος είναι μικρή, είναι διασκορπισμένα σε έκταση δεκάδων χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων, η εκμετάλλευσή τους απαιτεί την χρήση καινοτόμων τεχνολογιών και οι συντελεστές απόληψης κυμαίνονται μεταξύ 15 και 30% .

Το μη συμβατικό φυσικό αέριο αναμένεται να καταστεί ένα ολοένα και σημαντικότερο μέρος της παγκόσμιας προσφοράς φυσικού αερίου, αντιπροσωπεύοντας πάνω από το 60% της αύξησης της συνολικής παραγωγής αερίου έως το 2040. Η παγκόσμια παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου αντιπροσώπευε το 2015 το 23% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής φυσικού αερίου. Η προβλεπόμενη παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, μεθανίου από στρώματα γαιάνθρακα (CBM) και έγκλειστου αερίου, αναμένεται να αυξηθεί από περίπου 630 Bcm το 2013 σε σχεδόν 1700 Bcm το 2040.

Η παγκόσμια παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου ανήλθε σε 29 Tcf το 2015, αντιπροσωπεύοντας το 23% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής φυσικού αερίου. Επί του παρόντος, μόνο τέσσερις χώρες, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Κίνα, ο Καναδάς και η Αργεντινή έχουν εμπορική παραγωγή σχιστολιθικού φυσικού αερίου.

Τα παγκόσμια ανακτήσιμα αποθέματα μη συμβατικού φυσικού αερίου εκτιμώνται σε 4000 Tcm. Το σχιστολιθικό αέριο κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό των αποθεμάτων του μη συμβατικού φυσικού αερίου παγκοσμίως, το οποίο ανέρχεται σε 71,1% ενώ ακολουθούν το μεθάνιο από στρώματα γαιάνθρακα με 21,7% και το έγκλειστο αέριο με 7%.

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 ανέρχονταν το 2015 σε 35,782 Tcf, ενώ τα τεχνικώς ανακτήσιμα αποθέματα εκτιμώνταν σε 7,795 Tcf.

Τα 2/3 των τεχνικά ανακτήσιμων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου συγκεντρώνονται σε έξι χώρες, τις Η.Π.Α., Κίνα, Αργεντινή, Αλγερία, Καναδάς και το Μεξικό. Όσον αφορά το σχιστολιθικό αέριο, η Κίνα βρίσκεται στην πρώτη θέση με τα υψηλότερα εκτιμώμενα αποθέματα (1,115 Tcf), ακολουθεί στη δεύτερη θέση η Αργεντινή (802 Tcf), τρίτη η Αλγερία (707 Tcf), τέταρτη οι ΗΠΑ (665 Tcf), πέμπτος ο Καναδάς (573 Tcf), έκτο το Μεξικό (545 Tcf), έβδομη η Αυστραλία (437 Tcf), όγδοη η Νότιος Αφρικής (390 Tcf), ένατη η Ρωσία (285 Tcf) και στην δέκατη θέση βρίσκεται η Βραζιλία (245 Tcf).

Η παραγωγή φυσικού αερίου από τους μη συμβατικούς ταμειυτήρες, χωρίς την συμβολή της τεχνολογικής προόδου, ήταν απαγορευτική τα παλαιότερα έτη λόγω του πολύ χαμηλού ρυθμού παραγωγής και του μεγάλου κόστους εξόρυξης. Η ανάπτυξη των κοιτασμάτων σχιστολιθικού αερίου πυροδοτήθηκε από την εξέλιξη της τεχνολογίας της οριζόντιας γεώτρησης και την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Οι δύο ως άνω τεχνολογίες αποτέλεσαν τις τεχνολογίες κλειδιά για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, καθώς μεν, μέσω της οριζόντιας γεώτρησης, επιτυγχάνεται αυξημένη επαφή της γεώτρησης με το πέτρωμα που περιέχει το υπό παραγωγή ρευστό, από ότι θα ήταν εφικτό με μια κατακόρυφη γεώτρηση και αυξάνεται ο ρυθμός παραγωγής και ο συντελεστής απόληψης, ενώ δε, μέσω της υδραυλικής ρωγμάτωσης επιτυγχάνεται ενίσχυση και διασύνδεση πόρων και ρωγματώσεων του σχιστόλιθου, η οποία συνδράμει στην ροή του αερίου προς τις γεωτρήσεις παραγωγής και εν τέλει στην επιφάνεια.

Η επανάσταση του σχιστολιθικού αερίου έχει ήδη επιφέρει αλλαγές στο περιβαλλοντικό και κοινωνικοοικονομικό πλαίσιο, ιδίως στις περιοχές όπου η ανάπτυξη του φυσικού αερίου αποτελεί νέα δραστηριότητα.

Παράλληλα, ωστόσο, η αξιοποίηση του σχιστολιθικού αερίου έχει προκαλέσει κοινωνικό σάλο, αποτελώντας ένα αμφιλεγόμενο ζήτημα εξ αιτίας των περιβαλλοντικών και των κοινωνικών επιπτώσεων που συνεπάγονται από την ανάπτυξη του. Οι σημαντικότερες εκ των οποίων είναι:

- Η κατανάλωση πολύ μεγάλων ποσοτήτων νερού (2-5 εκατομμύρια γαλόνια) και δυνητική ρύπανση του υπόγειου νερού από το ρευστό της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Ιδιαίτερο πρόβλημα εντοπίζεται στις περιοχές που αντιμετωπίζουν το φαινόμενο της

Συμπεράσματα

λειψυδρίας και το πρόβλημα της εγγύτητας σε υδάτινους πόρους. Η διαρροή χημικών ουσιών - ρευστών στους παρακείμενους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, η μετανάστευση του μεθανίου καθώς και η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και άλλων αερίων ρύπων. Σημειωτέον, η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου έχει συνδεθεί με την πρόκληση σεισμικότητας κατά την διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης και της εισπίεσης των ρευστών – αποβλήτων σε γεωτρήσεις εισπίεσης. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί το αντίκτυπο που έχει στη χρήση γης, για την ανάπτυξη των γεωτρήσεων καθώς και οι επιπτώσεις στη γη και στο τοπίο, λόγω των μεγάλων εκτάσεων και η συνεπαγόμενη, από τις εργασίες, ηχορύπανση. Τέλος, υψίστης σημασίας πρόβλημα αποτελεί η δημόσια αποδοχή του σχιστολιθικού αερίου.

Η ταχεία επέκταση της ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου έχει οδηγήσει σε μια συνεχιζόμενη συζήτηση σχετικά με τον τρόπο εξισορρόπησης των περιβαλλοντικών ανησυχιών με την εμπορική και οικονομική ανάπτυξη. Το γεγονός αυτό έχει προκαλέσει την δημιουργία ενός ακραίου «δίπολου», το οποίο από τη μία πλευρά υποστηρίζει πλήρως την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου, ενώ από την άλλη πλευρά υφίσταται κατηγορηματική άρνηση, καθώς δεν αποδέχεται ουδόλως καμία μορφή ανάπτυξής του.

Η ρύθμιση της εξόρυξης του σχιστολιθικού αερίου είναι ένα εξελισσόμενο ζήτημα, καθώς η βιομηχανία αναπτύχθηκε τόσο γρήγορα που συχνά υπερέβη τη διαθεσιμότητα πληροφοριών για τις ρυθμιστικές αρχές προκειμένου να αναπτύξουν ειδικές κατευθυντήριες γραμμές. Το εν λόγω γεγονός, απαιτεί την συνεχή εξέλιξη, αναθεώρηση και βελτίωση του υφιστάμενου κανονιστικού πλαισίου το οποίο ρυθμίζει τους μη συμβατικούς υδρογονάνθρακες εν γένει, προκειμένου να υπάρξει διευθέτηση όλων των υπαρχόντων νομοθετικών κενών, να διασφαλιστεί ότι η ανάπτυξή τους πραγματοποιείται σύμφωνα με τις βέλτιστες πρακτικές της βιομηχανίας και να μειωθεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Όσον αφορά το μοναδιαίο κόστος παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ, έχει σημειώσει σημαντική μείωση τα τελευταία έτη (-25% σε -30% σε σχέση με το 2012-2015), κυρίως λόγω σημαντικών τεχνολογικών βελτιώσεων. Ως εκ τούτου, το κόστος παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου ανήλθε στην τιμή των \$2.8/MMBtu το 2015, ενώ θα παραμείνει σε σχετικά μέτριο επίπεδο (οι εκτιμήσεις ποικίλλουν από \$2,5/MMBtu σε \$6,0 /MMBtu το 2040).

Η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου έχει αλλάξει άρδην την σκηνή του φυσικού αερίου: δημιούργησε υπερπροσφορά σε LNG και οδήγησε σε γενική πτώση τις τιμές του φ.α. Όσον

αφορά τις ΗΠΑ, η άνθηση του σχιστολιθικού αερίου έχει καταστήσει τις ΗΠΑ αυτάρκειες στο φυσικό αέριο, έχει αυξήσει την εξαγωγική τους ικανότητα ενώ η αύξηση της προσφοράς φυσικού αερίου θα μετατρέψει τις ΗΠΑ από καθαρό εισαγωγέα σε καθαρό εξαγωγέα. Η διαφορά τιμών μεταξύ των περιφερειακών αγορών (Ηνωμένες Πολιτείες, Ευρώπη και Ασία) οδήγησε τους παραγωγούς των ΗΠΑ να αναζητήσουν νέες εξαγωγικές ευκαιρίες. Η Ευρώπη, μέσω του LNG των ΗΠΑ, έχει την δυνατότητα να διαφοροποιήσει την βάση εφοδιασμού με της με φυσικό αέριο και να μειώσει την εξαρτήσή της από την Ρωσία προκειμένου να βελτιωθεί η περιφερειακή ενεργειακή της ασφάλεια. Στην Ασία, η Κίνα λόγω των μεγάλων αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου, αναμένεται να αυξήσει περαιτέρω την παραγωγή φυσικού αερίου από τον σχιστόλιθο προκειμένου να μπορέσει να ανταγωνιστεί τις ΗΠΑ..

Οι εξαγωγές LNG των ΗΠΑ θα φέρουν την επανάσταση στο διεθνές εμπόριο του LNG: η δομή των συμβάσεών τους (που συνδέεται με την αμερικανική τιμή φυσικού αερίου, χωρίς ρήτρες προορισμού) και οι προβλεπόμενοι όγκοι θα επιτρέψουν μεγαλύτερη ευελιξία στη διεθνή αγορά LNG και θα διευκολύνουν τη σύγκλιση των τιμών μεταξύ των περιφερειακών αγορών. Λόγω της ευελιξίας των συμβάσεων των ΗΠΑ, τα φορτία LNG θα εξαχθούν στις πιο κερδοφόρες αγορές. Ενώ τα έργα αφορούσαν αρχικά την ασιατική αγορά, η εξαφάνιση της πριμοδότησης που καταβάλλουν οι αγοραστές της Ασίας και η επιβράδυνση της ζήτησης καθιστούν άλλες εισαγόμενες αγορές, συμπεριλαμβανομένης της Ευρώπης, ελκυστικότερες για τους εξαγωγείς LNG των ΗΠΑ. Στο σημερινό επίπεδο των τιμών του φυσικού αερίου στην ευρωπαϊκή αγορά, το οποίο είναι ιδιαίτερα χαμηλό, το LNG δεν είναι εγγυημένο να φτάνει σε μεγάλες ποσότητες, καθώς σε άλλες αγορές (Λατινική Αμερική, Μέση Ανατολή και Ινδία) μπορούν να υπάρξουν υψηλότερα περιθώρια κέρδους. Η ευρωπαϊκή αγορά είναι μια αγορά «ύστατης λύσης (last resort)» για τα πλεονάσματα LNG τα οποία ενδέχεται να αυξηθούν από το 2018.

Οι παραδοσιακοί εξαγωγείς φυσικού αερίου της Ευρώπης, ιδίως τη Ρωσία, προετοιμάζονται για αυτόν τον νέο ανταγωνισμό σε μια αγορά όπου η ζήτηση μειώθηκε κατά ένα πέμπτο από το 2010, αν και σημειώσε μικρή αύξηση το 2015. Η αύξηση των εξαγωγών της Gazprom στην Ευρώπη (+8% το 2015 και +18% το α τρίμηνο του 2016) περιορίζει τις πρόσθετες απαιτήσεις εισαγωγών LNG στην Ευρώπη. Ωστόσο, η άνοδος (ακόμη και μέτρια) των τιμών του πετρελαίου θα αλλάξει την κατάσταση. Η τιμή του ρωσικού φυσικού αερίου θα αυξηθεί καθώς οι ρωσικές συμβάσεις συνδέονται εν μέρει με την τιμή του πετρελαίου. Αυτή η κατάσταση είναι πιθανό να προκαλέσει πόλεμο τιμών μεταξύ της Gazprom, του βασικού

προμηθευτή φυσικού αερίου στην ευρωπαϊκή αγορά, και των εξαγωγέων των ΗΠΑ. Η Gazprom δήλωσε ότι σκοπεύει να διατηρήσει το μερίδιό της τουλάχιστον στο 30% της ευρωπαϊκής αγοράς, καθώς διαθέτει σημαντικά πλεονεκτήματα για αυτό: πλεόνασμα παραγωγικής και μεταφορικής ικανότητας καθώς και χαμηλό κόστος παραγωγής/μεταφοράς. Η Gazprom θα μπορούσε να προσαρμόσει τις τιμές της προς τα κάτω για να υπερασπιστεί το μερίδιό της στην αγορά, ανάλογα με το κόστος του φυσικού αερίου των ΗΠΑ που παραδοθεί στην Ευρώπη, καθιστώντας το μη ανταγωνιστικό για τους Ευρωπαίους αγοραστές.

Το LNG των ΗΠΑ έχει πολλά πλεονεκτήματα για τους Ευρωπαίους αγοραστές όσον αφορά την ασφάλεια του εφοδιασμού και την ανταγωνιστικότητα, ανεξαρτήτως αν το LNG φτάσει στην Ευρώπη ή όχι. Δημιουργεί μεγαλύτερη πίεση στη Gazprom προκειμένου να προσαρμόσει τις συμβάσεις της, καθώς και ένα ανώτατο όριο τιμών για τις τιμές εξαγωγής φυσικού αερίου. Η ασφάλεια του εφοδιασμού και η ανταγωνιστικότητα ενισχύονται από την ύπαρξη εξαγωγικής δυναμικότητας αν αυξηθούν οι ευρωπαϊκές τιμές ή εάν η αγορά αντιμετωπίσει διακοπή του εφοδιασμού με φυσικό αέριο. Η στρατηγική της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το LNG ενισχύει το ρόλο του στην Ευρώπη, δίδοντας έμφαση στην κατασκευή των ελλειπουσών υποδομών, στην ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς και στο διάλογο με τους εξαγωγείς LNG.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες, λόγω των άφθονων αποθεμάτων τους και του χαμηλού κόστους των έργων LNG, θα καταστούν σημαντικοί εξαγωγείς LNG και είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις αυξανόμενες ανάγκες της Ευρώπης όσον αφορά τις εισαγωγές, υπό την προϋπόθεση ότι η Ευρώπη παραμένει μια ελκυστική αγορά για τις εισαγωγές LNG. Στη διεθνή αγορά, η Ευρώπη έχει να ανταγωνιστεί πολλούς αγοραστές παγκοσμίως. Για τους εξαγωγείς LNG των ΗΠΑ, οι αγορές της Λατινικής Αμερικής και της Μέσης Ανατολής και μετά το άνοιγμα του καναλιού του Παναμά, οι νέες χώρες εισαγωγής της Ασίας θα μπορούσαν να καταστούν πιο κερδοφόρες από την ευρωπαϊκή αγορά.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Euractiv. (2015, June). *Europe's LNG imports set to double by 2020* Euractiv. Ανάκτηση από Euractiv: <http://www.euractiv.com/section/trade-society/news/europe-s-lng-imports-set-to-double-by-2020-iea-says/>
- LNG World News. (2015, November 27). *Lithuania looking to alter LNG supply deal with Statoil* . Ανάκτηση από LNG World News: <http://www.lngworldnews.com/lithuania-looking-to-alter-lng-supply-deal-with-statoil/>
- (2015). Ανάκτηση από Oil & Gas Journal: <http://www.ogpe.com/articles/pt/2016/03/mexico-to-auction-shale-oil-gas-fields-this-year.htm>
- (2015). Ανάκτηση από Shale Oil and Gas Business Magazine: <http://shalemag.com/shale-oil-gas-mexico/>
- (2016). Ανάκτηση από Liquefied Natural Gas Exports/ America's Opportunity and Advantages: <http://www.lngexports.com/#/?section=why-export-lng>
- Abualkhir, E. A. (2016). Libya and the Great Challenges of Overcoming Difficulties to Exploring and Producing Shale Gas, and Tight. *The 12th Middle East Geosciences Conference and Exhibition*. Manama, Bahrain.
- Adams. (2011). Land application of hydrofracturing fluids damages a deciduous forest stand in West Virginia. *Journal of environmental quality* .
- 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 Commission DG Environment.
- Ahmed, U., Meehan, N., & Hughes, B. (2016). Characteristics of Unconventional Oil and Gas Resources. Στο U. Ahmed, & N. Meehan, *Unconventional Resources Exploitation and Development*.
- ALLConsulting. (2009). *An overview of moderne shale gas development in the United States*.
- Allen, D., Torres, V., Thomas, J., Sullivan, D., Harrison, M., Hendler, A., και συν. (2013). Measurements of methane emissions at natural gas production sits in the United States. *National Academy of Sciences* .

- Altman, M., Bitzer, K., Matra, Z., Weindroff, W., & Zittel, W. (2012). *Hungarian Shale Gas-Impacts on the environment and human health*.
- Amott, N., Garlick, P., & Andrews, P. (2016). Coal Bed Methane-Unconventional gas becomes an optimised solution. *SPE* .
- Aoun, M., & Carnot-Gandolphe, S. (2015). *The European Gas Market Looking for its Golden Age*. Études de l'Ifri .
- API Energy. (2009). *API Guidance Document HF1: Hydraulic Fracturing Operations-Well Construction and Integrity Guidelines*. Washington DC: American Petroleum Institute.
- API. (2011). *Overview of Industry Guidance/Best Practices on Hydraulic Fracturing*.
- API. (2011). *Overview of Industry Guidance/Best Practices on Hydraulic Fracturing*.
- APIEnergy. (2009). *API Guidance Document HF1: Hydraulic Fracturing Operations-Well Construction and Integrity Guidelines*. Washington DC: American Petroleum Institute.
- Argonne National Laboratory. (2013). *Hydraulic Fracturing and Shale Gas Production: Technology, Impacts and Regulation*.
- ArgonneNationalLaboratory. (2013). *Hydraulic Fracturing and Shale Gas Production: Technology, Impacts and Regulation*.
- Atradius Economic Research. (2017). *Natural gas prices have reached a turning point*.
- Atradius Economic Research. (2017). *Natural gas prices have reached a turning point*.
- Australian Government. (2015). Ανάκτηση από Shale Gas in Poland- an Opportunity or a Chimera? .
- Becker, V., & Werner, A. (2014). One Step Forward, One Step Back: Shale Gas in Denmark and Sweden. *Journal of European Management & Public Affairs Studies* .
- Berman, A. (2017). *OilPrice.com*. Ανάκτηση από Tight Supply Boosts Natural Gas Prices In 2017: <http://oilprice.com/Energy/Natural-Gas/Tight-Supply-Boosts-Natural-Gas-Prices-In-2017.html>
- Bird & Bird*. (2013). Ανάκτηση από Shale Gas in Sweden: <https://www.twobirds.com/en/hot-topics/shale-gas/shale-gas-in-sweden>

- Bordoff, J., & Houser, T. (2014). *American Gas to the Rescue? The Impact of US LNG Exports on European Security and Russian Foreign policy*. Columbia/SIPA, Center on Global Energy Policy.
- Boyer, E., Swistock, B., Clark, J., Madden, M., & Rizzo, D. (2012). *The Impact of Marcellus Gas Drilling on Rural Drinking Water Supplie*. Center for Rural Pennsylvania.
- BP. (2017). *BP Statistical Review of World Energy*.
- BP. (2016). *BP Statistical Review of World Energy*.
- (2017). *BP Statistical Review of World Energy*.
- (2016). *BP Statistical Review of World Energy* .
- British Geological Survey- National Enviroment Research Council. (2012). *Bowland Shale gas*. Ανάκτηση από <http://www.bgs.ac.uk/research/energy/shaleGas/bowlandShaleGas.html>
- British Geological Survey. (2013). *The Carboniferous Bowland Shale gas study:geology and resource estimation*. Department of Energy and Climate Change.
- Brüel, & Kjær. (2010). *Managing the noise impact from shale gas drilling*.
- Budapest Telegraph. (2017). *Shale gas extraction: Should Hungary get on board or stay put?* Ανάκτηση από http://www.budapesttelegraph.com/news/863/shale_gas_extraction:_should_hungary_get_on_board_or_stay_put?_
- Canadian Society for Unconventional Gas*. (2010). Ανάκτηση από Understanding Shale Gas in Canada.
- CAPP. (2013a). *Land and Reclamation* .
- Chengzao, J. (2017). Breakthrough and significance of unconventional oil and gas to classical petroleum geology theory. *Petroleum Exploration and Development* .
- Clark, C., Horner, R., & Harto, C. (2013). Life Cycle Water Consumption for Shale Gas and Conventional Natural Gas. *Environmental Science and Technology* .
- ClimatePrinciples. (2013). *Shale gas exploration and production, Key issues and responsible business practices*.
- CongressionalResearchService. (2015). *Hydraulic Fracturing and Safe Drinking Water Act Regulatory Issues* .

- Cooper, J., Dr.Stamford, L., & Prof.Azapagic, A. (2014). Environmental Impacts of Shale Gas in the UK: Current Situation and Future Scenarios. *Energy Technology: Generation, Conversion, Storage, Distirbution* .
- Cooper, J., Stamford, L., & Azapag, A. (2016). Shale Gas: A Review of the Economic, Environmental, and Social Sustainability . *Energy Technology* .
- Corbeau, A. S., & Yermakov, V. (2016). *Will There Be a Price War Between Russian Pipeline Gas and US LNG in Europe?* KAPSARC.
- Cornot-Gandolphe, S. (2016). *The US Natural Gas Exports: New Rules on the E*. Bruxelles: Études de l’Ifri.
- Council of Canadian Academies. (2014). *Environmental Impacts of Shale Gas Extraction in Canada*.
- CouncilofCanadianAcademies. (2014). *Environmental Impacts of Shale Gas Extraction in Canada*.
- Curtis, J. B. (2002). Fractured shale-gas systems.
- Daigle, P. (2010). A summary of the environmental impacts of roads, management responses, and research gaps: A literature review. *BC Journal of Ecosystems and Management*, .
- Das, J. (2012). Extracting Natural Gas Through Desorption in Shale Reservoirs. *SPE* .
- DE MICCO, P. (2016). *Could US oil and gas exports be a game changer for EU energy security?* European Parliament.
- Debra, K., & Tracle, R. (2016). *Environmental and Health Issues in Unconventional Oil and Gas Development*.
- Delebarre, J., Ares, E., & Smith, L. (2017). *Shale gas and fracking*. House of Commons Library.
- Departement of Mines and Petroleum*. (n.d.). Ανάκτηση από Government of Australia: http://www.nt.gov.au/d/Minerals_Energy/Content/Image/UnconventionalOilandGas/GasAccumulationInBasins.jpg
- Deutsche Welle. (2016). *Germany largely bans fracking with new laws*. Ανάκτηση από <http://www.dw.com/en/germany-largely-bans-fracking-with-new-laws/a-37510063>

- DOE. (2009). *Modern Shale Gas Development in the United States: A Primer*. U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, Strategic Center for Natural Gas and Oil.
- Dong, D., Wang, Y., Li, X., Zou, C., Guan, Q., Zhang, C., και συν. (2016). Breakthrough and prospect of shale gas exploration and development in China. *Natural Gas Industry B* .
- Dong, D., Zou, C., Dai, J., Huang, S., Zheng, J., Gong, J., και συν. (2016). Suggestions on the development strategy of Shale gas in China. *Journal of Natural Gas Geoscience* .
- Dreyer, I., & Stang, G. (2013). *The shale gas 'revolution': Challenges and implications for the EU*. European Union Institute for Security Studies .
- Drilling Information Database*. (2014). Ανάκτηση από <http://info.drillinginfo.com>
- DrillingInformationDatabase*. (2014). Ανάκτηση από <http://info.drillinginfo.com>
- Earthworks. (n.d.). *The Halliburton Loophole*. Ανάκτηση από https://www.earthworksaction.org/issues/detail/inadequate_regulation_of_hydraulic_fracturing#.WXdXS4iGMdV
- East Med Energy. (2016). *International Companies to develop Turkey's shale gas*. Ανάκτηση από <http://eastmedenergy.me/2016/05/17/international-companies-develop-turkeys-shale-gas/>
- Egypt Oil & Gas*. (2015). Ανάκτηση από Apache Finalizes Studies on Obayed Shale Gas Reserves: <http://www.egyptoil-gas.com/news/apache-finalizes-studies-on-obayed-shale-gas-reserves/>
- EIA. (2013). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States*. U.S. Department of Energy .
- EIA. (2013). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States*. U.S. Department of Energy .
- EIA. (2010). Ανάκτηση από Natural Gas: https://www.eia.gov/oil_gas/natural_gas/special/ngresources/ngresources.html
- EIA. (2011). Ανάκτηση από <https://www.eia.gov/maps/maps.htm>
- EIA. (2012).

EIA. (2012).

EIA. (2016). Ανάκτηση από Where Our Natural Gas Comes From:

https://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=natural_gas_where

EIA. (2016). Ανάκτηση από <https://www.eia.gov/maps/maps.htm>

EIA. (2016, December). Ανάκτηση από New U.S. border-crossing pipelines bring shale gas to more regions in Mexico: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=28972>

EIA. (2016). Ανάκτηση από Shale gas production drives world natural gas production growth: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=27512>

EIA. (2017). Ανάκτηση από Argentina seeking increased natural gas production from shale resources to reduce imports: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=29912>

EIA. (2017). Ανάκτηση από Natural gas prices in 2017 and 2018 are expected to be higher than last year: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=29632>

EIA. (2016). *Annual Energy Outlook*.

EIA. (2016). *Annual Energy Outlook*.

EIA. (2017). *Annual Energy Outlook*.

EIA. (2010). EIA. Ανάκτηση από Natural Gas:

https://www.eia.gov/oil_gas/natural_gas/special/ngresources/ngresources.html

EIA. (2011). EIA. Ανάκτηση από <https://www.eia.gov/maps/maps.htm>

EIA. (2016). EIA. Ανάκτηση από <https://www.eia.gov/maps/maps.htm>

EIA. (2016). EIA. Ανάκτηση από Shale gas production drives world natural gas production growth: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=27512>

EIA. (2016, December). EIA. Ανάκτηση από New U.S. border-crossing pipelines bring shale gas to more regions in Mexico: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=28972>

EIA. (2017). EIA. Ανάκτηση από Argentina seeking increased natural gas production from shale resources to reduce imports: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=29912>

EIA. (2017). EIA. Ανάκτηση από Natural gas prices in 2017 and 2018 are expected to be higher than last year: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=29632>

EIA Energy Conference. (2017). Coal-Natural Gas Competition: The current state of play-impact on system dispatch. *Energy Ventures Analysis*. Washington, DC.

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

EIA. (2017). *EnergyInformationAdministration*. Ανάκτηση από Natural gas prices in 2016 were the lowest in nearly 20 years: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=29552>

EIA. (2016). *Growth in domestic natural gas production leads to development of LNG export terminals*. Ανάκτηση από EIA:

<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=25232>

EIA. (2016). *International Energy Outlook* .

EIA. (2016). *International Energy Outlook*.

EIA. (2016). *International Energy Outlook*.

EIA. (2016). *International Energy Outlook 2016* .

EIA. (2017). *Liquefied natural gas exports expected to drive growth in U.S. natural gas trade*. Ανάκτηση από EIA: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=30052>

EIA. (2016). *Short Term Energy Outlook, Market Prices and Uncertainty Report*.

EIA. (2016). *Short Term Energy Outlook, Market Prices and Uncertainty Report*.

EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Algeria* .

EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Algeria*.

EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Argentina* . U.S. Department of Energy .

EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Argentina*. U.S. Department of Energy.

EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Australia* .

EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Australia*.

EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Canada*. U.S. Department of Energy.

EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Canada*. U.S. Department of Energy.

EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: China* .

EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: China*.

EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Egypt* .

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Egypt*.
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: India and Pakistan* .
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: India and Pakistan*.
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Libya* .
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Libya*.
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Mexico* . U.S. Department of Energy .
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Mexico*. U.S. Department of Energy.
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Other Eastern Europe* .
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Other Eastern Europe*.
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Other Western Europe* .
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Other Western Europe*.
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Poland* . U.S. Department of Energy .
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Poland*. U.S. Department of Energy.
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Russia* .
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Russia*.
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: South Africa* .
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: South Africa*.
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Turkey* .

- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Turkey*.
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: United Kingdom*.
- EIA. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: United Kingdom*.
- EIA. (2016). *Trends in U.S. Oil and Natural Gas Upstream Costs*. U.S. Department of Energy .
- EIA. (2016). *Trends in U.S. Oil and Natural Gas Upstream Costs*. U.S. Department of Energy.
- EIA. (2016). *Trends in U.S. Oil and Natural Gas Upstream Costs*. U.S. Department of Energy.
- EIA. (2017). *USEnergyInformationAdministration*. Ανάκτηση από Natural gas prices in 2016 were the lowest in nearly 20 years:
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=29552>
- EIA/ARI. (2013). *EIA/ARI World Shale Gas and Shale Oil Resource Assessment* .
- EIA/ARI. (2013). *EIA/ARI World Shale Gas and Shale Oil Resource Assessment*.
- EIAEnergyConference. (2017). Coal-Natural Gas Competition: The current state of play-impact on system dispatch. *Energy Ventures Analysis*. Washington, DC.
- EIA-International Energy Outlook. (2016). *International Energy Outlook*.
- Energy Egypt. (2014). *Apache to drill 20 horizontal gas wells in Apollonia field for \$100 million*. Ανάκτηση από <https://energyegypt.net/tag/shale-oil-and-gas/>
- Environment Agency. (2013). *An environmental risk assessment for shale gas exploratory operations in England*.
- EnvironmentAgency. (2013). *An environmental risk assessment for shale gas exploratory operations in England*.
- EPA. (2011). *Draft Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources*.
- EPA. (2011). *Draft Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources*.

EPA. (2016). *Hydraulic Fracturing for Oil and Gas: Impacts from the Hydraulic Fracturing Water Cycle on Drinking Water Resources in the United States*.

EPA. (2016). *Hydraulic Fracturing for Oil and Gas: Impacts from the Hydraulic Fracturing Water Cycle on Drinking Water Resources in the United States*.

Esswein, E., Kiefer, M., Snawder, J., & Breitenstein, M. (2012). *Worker Exposure to Crystalline Silica During Hydraulic Fracturing*.

European Commission. (2016). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economical and Social Committee and the Committee of the regions on a EU strategy for liquefied natural gas and storage*. Brussels: European Commission.

European Commission. (2012). *Unconventional Gas: Potential Energy Market Impacts in the European Union*. JRC Scientific and Policy Reports.

Evans , J., & Kiesecker, J. (2014).

Shale Gas, Wind and Water: Assessing the Potential Cumulative Impacts of Energy Development on Ecosystem Services within the Marcellus Play.

Evans, S. (2015). *The Carbon Brief*. Ανάκτηση από Opposition to fracking increases again, finds Sunday Times poll: <http://www.carbonbrief.org/blog/2015/05/opposition-to-fracking-increases-again,-findssunday-times-poll/>.

export.gov. (2016). Ανάκτηση από Algeria - Oil and Gas - Hydrocarbons: <https://www.export.gov/article?id=Algeria-Oil-and-Gas-Hydrocarbons>

Farah, P. D., & Tremolada, R. (2016). A Comparison Between Shale Gas in China and Unconventional Fuel Development in the United States: Water, Environmental Protection, and Sustainable Development . *Brooklyn Journal International Law* .

FERC. (2017). Ανάκτηση από <https://www.ferc.gov/industries/gas/indus-act/lng.asp>

Finkel, M. (2015). *The human and environmental impact of fracking: how fracturing shale for gas affects us and our world*.

Florence, G. (2010). *Can Unconventional Gas be a Game Changer in European Markets*. Oxford Institute for Energy Studies.

Forbes. (2015, March 11). *Gazprom Says It Can Compete With U.S. LNG In Europe*. Ανάκτηση από Forbes:

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

<https://www.forbes.com/forbes/welcome/?toURL=https://www.forbes.com/sites/kenrapoza/2015/03/11/gazprom-says-it-can-compete-with-u-s-lng-in-europe>

GAO. (2012a). *Oil and Gas: Information on Shale Resources, Development, and Environmental and Public Health Risks*.

Geology.com. (2017). Ανάκτηση από <http://geology.com/rocks/shale.shtml>

Heath, G., & Mann, M. (2012). Background and reflections on the life cycle assessment harmonization project. *Journal of Industrial Ecology* .

Heiskanen, V. P., & Wang, J. Y. (2015). *Shale gas production – its trade as LNG and prospects for Finland and its industries*. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.

Holditch, S. A. (2006). Tight Gas Sands. *JPT* .

Horton, S. (2012). Disposal of Hydrofracking Waste Fluid by Injection into Subsurface Aquifers Triggers Earthquake Swarm in Central Arkansas with Potential for Damaging Earthquake. *Seismological Research Letters* .

Howarth, R., Santoro, R., & Ingraffea, A. (2011). *Methane and the greenhouse gas footprint of natural gas from shale formations*.

Hughes, D. (2016). *2016 Shale Gas Reality Check*. Post Carbon Institute.

ICF. (2014). *Macroeconomic impacts of shale gas extraction in the EU*.

IEA . (2017). Ανάκτηση από IEA sees global gas demand rising to 2022 as US drives market transformation: <http://www.iea.org/newsroom/news/2017/july/iea-sees-global-gas-demand-rising-to-2022-as-us-drives-market-transformation.html>

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

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

IEA. (2017). *IEA*. Ανάκτηση από IEA sees global gas demand rising to 2022 as US drives market transformation: <http://www.iea.org/newsroom/news/2017/july/iea-sees-global-gas-demand-rising-to-2022-as-us-drives-market-transformation.html>

IEA. (2017). *Natural Gas information: Overview*.

IEA. (2016). *World Energy Outlook* .

IEA. (2015). *World Energy Outlook*.

- Iqbal, G. M., & Satter, A. (2016). *Reservoir Engineering The Fundamentals, Simulation, and Management of Conventional and Unconventional Recoveries*. Elsevier.
- Jackson, R., Vengosh, A., Darrah, T., Warner, N., & Down, A. (2013). Increased stray gas abundance in a subset of drinking water wells near Marcellus shale gas extraction. *National Academy of Sciences of the United States of America*.
- 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.
- Johnson, N. (2011). *Pennsylvania Energy Impacts Assessment*.
- Johnson, N., Gagnolet, T., Ralls, R., Zimmerman, E., Eichelberger, B., Tracey, C., και συν. (2010). *Pennsylvania Energy Impacts Assessment Report 1: Marcellus Shale Natural Gas and Wind*. The Nature Conservancy.
- Johnson, N., Gagnolet, T., & Ralls, S. (2011). *Pennsylvania Energy Impacts Assessment. Report 2: Natural Gas Pipelines*.
- Kalaswad, S., Christian, B., & Petrossian, R. (2012). *Texas Water Development Board. Brackish groundwater in Texas*.
- Karakitsios, V., & Agiadi, K. (2013). *Western Greece unconventional hydrocarbon potential from oil shale and shale gas reservoirs*.
- Kennedy, R., Knecht, W., & Knecht, D. (2012). Comparisons and Contrasts of Shale Gas and Tight Gas Developments, North American Experience and Trends. SPE.
- Krasnerman, G. (2017). *The Future of Fracking Regulation by*.
- Lehr, J., Keeley, J., & Kingery, T. (2016). *Alternative energy and shale gas encyclopedia*. Wiley.
- LNG World News. (2017). *WoodMac: 60 pct of US LNG supplies to land in Europe*. Ανάκτηση από LNG World News: <http://www.lngworldnews.com/woodmac-60-pct-of-us-lng-supplies-to-land-in-europe/>
- Logan, J., Heath, G., Paranhos, E., Boyd, W., & Carlson, K. (2012). *Natural Gas and the Transformation of the US. Golden (CO)*. Joint Institute for Strategic Energy Analysis.

- Loucks, R., Reed, R. M., Ruppel, S. C., & Jarvie, D. M. (2009). Morphology, Genesis, and distribution of nanometer-scale pores in siliceous madstones of the Mississippian Barnett Shale. *Journal of Sedimentary Research* .
- Lund, L. (2014). *Decline Curve Analysis of Shale Oil Production The Case of Eagle Ford*.
- MacIntosh, C. (2014). *Discussion Paper: Hydraulic Fracturing - Understanding the General Regulatory Issues Nova Scotia Hydraulic Fracturing Independent Review and Public Engagement Process*. Cape Breton University, Verschuren Centre.
- MacKay, D. (2013). *Potential Greenhouse Gas Emissions Associated with Shale Gas Extraction and Use* . Department of Energy and Climate Change.
- Marsters, P., CastroAlvarez, F., deLeonBarid, D., Siegner, L., & Kammen, D. (2015). *An Analysis of the Environmental Impacts of the Extraction of Shale Gas and Oil in the United States with Applications to Mexico*. Energy and Resources Group, University of California-Berkeley.
- Mathis, M. (2011). *Shale Natural Gas – Water Use Management, presented at Interstate Council on Water Policy Annual Meeting*.
- McGlade, C., Speirs, J., & Sorrell, S. (2012). *A review of regional and global estimates of unconventional gas resources*. UK Energy Research Centre.
- MilieuLtd. (2013). *Regulatory provisions governing key aspects of unconventional gas extraction in selected EU Member States*. European Commission, Directorate General Environment, Directorate F – Strategy .
- Mistré, M., Hafner, M., & Crénes, M. (2017, January). Shale gas production costs: historical developments and outlook. *Insight-E* .
- Nagy, S. (2014). Shale gas prospects for Europe. *Insight-E* .
- NationalEnergyTechnologyLaboratory. (2013). *Modern Shale Gas Development in the United States: An Update*. U.S. Department of Energy.
- NaturalGas.org. (2013). Ανάκτηση από Well Completion:
<http://naturalgas.org/naturalgas/well-completion/>
- Nature International weekly Journal of Science. (2016). Ανάκτηση από Can fracking power Europe?: <http://www.nature.com/news/can-fracking-power-europe-1.19464>

NETL. (2014). *Environmental Impacts of Unconventional Natural Gas Development and Production* .

Nicot, J., & Scanlon, B. (2012). *Water use for shale-gas production in Texas*. U.S. Bureau of Economic Geology, Jackson School of Geosciences, University of Texas at Austin.

Nodé-Langlois, F. (2011). *Le Figaro*. Ανάκτηση από La France se prive de ses réserves de gaz : <http://www.lefigaro.fr/matieres-premierres/2011/10/04/04012-20111004ARTFIG00743-la-france-se-prive-de-ses-reserves-de-gaz.php>

Northrup, J., & Wittemyer, G. (2013a). Characterising the impacts of emerging energy development on wildlife, with an eye towards mitigation. *Ecology Letters* .

Norton Rose Fullbright. (2015). *Shale gas handbook A quick-reference guide for companies involved in the exploitation of unconventional gas resources*.

NortonRose, F. (2015). *Shale gas handbook A quick-reference guide for companies involved in the exploitation of unconventional gas resources*.

NPC. (2011). *Prudent Development - Realizing the Potential of North America's Abundant Natural Gas and Oil Resources*.

NRC. (2012). *Induced Seismicity Potential in Energy Technologies*. National Research Council of the National Academy of Sciences, The National Academies Press.

O'Sullivan, F., & Paltsev, S. (2012). Shale gas production: Potential versus actual greenhouse gas emissions. *Environmental Research Letters* .

ODNR. (2012). *Preliminary Report on the Northstar 1 Class II Injection Well and the Seismic Events in the Youngstown*.

Oil & Gas Journal. (2015). Ανάκτηση από <http://www.ogj.com/articles/print/volume-114/issue-6/exploration-and-development/new-bid-round-accelerates-mexico-s-shale-potential.html>

Oil & Gas Journal. (2015). Ανάκτηση από Argentina and China lead shale development outside of north america: <http://www.ogj.com/articles/print/volume-113/issue-7/general-interest/eia-argentina-china-lead-shale-development-outside-north-america.html>

Oil & Gas Journal. (2017). Ανάκτηση από Wintershall abandons shale gas research plans in German fields: <http://www.ogj.com/articles/2017/03/wintershall-abandons-shale-gas-research-plans-in-german-fields.html>

Oil Price. (2016). Ανάκτηση από Shale Drilling Set To Take Off In Argentina: <http://oilprice.com/Energy/Energy-General/Shale-Drilling-Set-To-Take-Off-In-Arentina.html>

OilPrice. (2017). *First Ever U.S. LNG Cargo Set Sail For Northwest Europe*. Ανάκτηση από oilprice: <http://oilprice.com/Latest-Energy-News/World-News/First-Ever-US-LNG-Cargo-Set-Sail-For-Northwest-Europe.html>

Osborn, Stephen G.; Vengosh, Avner; Warner, Nathaniel R.; Jackson, Robert B. (2011). *Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing*.

Passey, Q., Bohacs, K., Esch, W., Klimentidis, R., & Sinha, S. (2010). From Oil-Prone Source Rock to Gas-Producing Shale Reservoir - Geologic and Petrophysical Characterization of Unconventional Shale Gas Reservoirs. *International Oil and Gas Conference and Exhibition in China*. Society of Petroleum Engineers.

Petrovich. (2013). *European gas hubs: how strong is price correlation?* . Oxford Institute for Energy Studies. .

Polish Geological Institute – National Research Institute. (2014). *Shale Gas Resources - Europe*. Ανάκτηση από <http://infolupki.pgi.gov.pl/en/gas/international-news/shale-gas-resources-europe>

Polish Geological Survey . (2016). Ανάκτηση από SHALE GAS EXPLORATION STATUS IN POLAND AS OF MARCH 2016: <http://infolupki.pgi.gov.pl/en/exploration-status/news/shale-gas-exploration-status-poland-march-2016>

Pore-throat sizes in sandstones, tight sandstones and shales *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 329-340

Portal on Central Eastern. (2015). Ανάκτηση από Shale gas in Poland and Ukraine: a great potential and an uncertain future: <http://www.pecob.eu/shale-gas-pl-ua>

Potocnik, J. (2012). *Transmission Note on the EU environmental legal framework applicable to shale gas projects*. European Commission.

Pöyry. (2013). *Macroeconomic Effects Of European Shale Gas Production*.

Regulation of Shale and Tight Resources. (2016). Ανάκτηση από Natural Resources Canada: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/sources/shale-tight-resources/17680>

Reuters. (2016). Ανάκτηση από Brexit could provide boost for Britain's shale gas:

<http://www.reuters.com/article/us-britain-eu-shale-idUSKCN0ZT1G9>

Reuters. (2016). Ανάκτηση από South Africa to start shale gas exploration in next year:

<http://www.reuters.com/article/us-safrica-shalegas-idUSKCN0WA26F>

Reuters. (2016). *JERA imports Japan's first liquefied shale gas cargo from U.S.* Ανάκτηση

από Reuters: <http://www.reuters.com/article/lng-japan-usa/jera-imports-japans-first-liquefied-shale-gas-cargo-from-u-s-idUSL4N1EW2RE>

Rezaee, R. (2015). *Fundamentals of Gas Shale Reservoirs* .

Rigzone. (2016). Ανάκτηση από ONGC Plans to Drill 17 Exploration Wells in India's Shale Oil, Gas Blocks:

http://www.rigzone.com/news/oil_gas/a/144191/ongc_plans_to_drill_17_exploration_wells_in_indias_shale_oil_gas_blocks

Roussos, N. (1993). The hydrocarbon gas field of Epanomi (Thessaloniki). An example of fracture reservoir. *Bulletin Geological Society of Greece* .

Salameh, M. G. (2016). U.S. LNG Exports Could Prove a Game Changer in the Global Gas Market. *International Association for Energy Economics* .

Scotchman, J. (2016). *Shale Gas and Fracking: exploration for unconventional hydrocarbons*.

Shale Gas Europe. (2014). *Bulgaria*. Ανάκτηση από <http://shalegas-europe.eu/shale-gas-explained/shale-gas-and-europe/bulgaria/>

Shale Gas Europe. (2014). *Romania*. Ανάκτηση από <http://shalegas-europe.eu/shale-gas-explained/shale-gas-and-europe/romania/>

Shale Gas in Australia. (2015). Ανάκτηση από <https://www.shale-gas.com.au/about-natural-gas/an-abundant-resource/>

Shale Gas in Australia. (2017). Ανάκτηση από <https://www.shale-gas.com.au/industry-operations/finding-gas/>

Shale Gas Information Platform. (2014). *The public debate in France*. Ανάκτηση από <http://www.shale-gas-information-platform.org/areas/the-debate/the-public-debate-in-france.html>

Shale Gas International. (2015). *As civil unrest stops shale operations, Turkey looks to Iran for oil and gas*. Ανάκτηση από <http://www.shalegas.international/2015/09/14/as-civil-unrest-stops-shale-operations-turkey-looks-to-iran-for-oil-and-gas/>

Shale Gas International. (2016). *Germany agrees on a fracking ban but environmentalists still not happy*. Ανάκτηση από <http://www.shalegas.international/2016/06/26/germany-agrees-on-a-fracking-ban-but-environmentalists-still-not-happy/>

Shale Gas International. (2016). *Pakistan seeks foreign allies to tap into its shale potential*. Ανάκτηση από <http://www.shalegas.international/2016/06/01/pakistan-seeks-foreign-allies-to-tap-into-its-shale-potential/>

Shale Gas Revolution 2011 Schlumberger

Shiryayevskaya. (2015). *Cheap Russian Gas Tempts EU Buyers as LNG Import Growth Stalls*. , Bloomberg Business.

Speight, J. G. (2017). *Deep Shale Oil and Gas*. Elsevier Inc.

Speight, J. (2013). *Shale Gas Production Processes*. Gulf Professional Publishing 2013.

Stockholm International Water Institute. (2014). *Shale Gas and Hydraulic Fracturing Framing the Water Issue*.

StockholmInternationalWaterInstitute. (2014). *Shale Gas and Hydraulic Fracturing Framing the Water Issue*.

Summary of the Clean Air Act. (n.d.). Ανάκτηση από EPA Regulations & Laws: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-air-act>

Summary of the Clean Water Act. (n.d.). Ανάκτηση από EPA, Laws & Regulations: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>

Summary of the Endangered Species Act. (n.d.). Ανάκτηση από EPA Laws & Regulations: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-endangered-species-act>

Summary of the Oil Pollution Act. (n.d.). Ανάκτηση από EPA Regulations & Laws: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-oil-pollution-act>

Tawonezvi, J. (2016). The legal and regulatory framework for the EU' shale gas exploration and production regulating public health and environmental impacts. *Energy Ecological Environment* .

- The Economist. (2015). *Shale gas drilling to start in Western Desert*. Ανάκτηση από <http://country.eiu.com/article.aspx?articleid=503197434&Country=Egypt&topic=Economy&subtopic=Forecast&subsubtopic=Policy+trends&u=1&pid=1041805888&oid=1041805888>
- The future potential of Algerian unconventional. (2016). *Shale Gas International Magazine*.
- The Local. (2016). *Total returns second Danish shale gas licence*. Ανάκτηση από <https://www.thelocal.dk/20160602/total-returns-second-danish-shale-gas-licence>
- The Oxford Institute for Energy Studies. (2017). *Russian Oil Production Outlook to 2020*. University of Oxford.
- The Royal Society; Royal Academie of Engineering. (2012). *Shale gas extraction in the UK: a review of hydraulic fracturing*.
- The Telegraph*. (2010). Ανάκτηση από Fracking doesn't contaminate water supplies, faulty shale gas wells do: <http://www.telegraph.co.uk/news/earth/energy/fracking/11097487/Fracking-doesnt-contaminate-water-supplies-faulty-shale-gas-wells-do.html>
- Theguardian*. (2016). Ανάκτηση από German government agrees to ban fracking after years of dispute: <https://www.theguardian.com/environment/2016/jun/24/germany-bans-fracking-after-years-of-dispute>
- TheRoyalSociety, & RoyalAcademieofEngineering. (2012). *Shale gas extraction in the UK: a review of hydraulic fracturing*.
- TheWorldBank. (2016). *Annual Repot*.
- TOTAL. (2013).
- trend*. (2017). Ανάκτηση από US LNG not competitive in Europe under current prices - expert: <https://en.trend.az/business/energy/2776869.html>
- U.S.EIA. (2013). *Technically Recoverable Shale Oil and Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States*.
- U.S.EnergyInformationAdministration. (2016). *International Energy Outlook 2016*.
- Umbach, F. (2017). *The Global Gas Oversupply and Its Impact on Europe and Asia: Where will the U.S. LNG Exports Go?* ESI-Seminar, Energy Studies Institute.

USDOE. (2011). *SEAB Shale Gas Production Subcommittee Second Ninety Day Report*. Washington.

USGS. (2014). Ανάκτηση από Map of Assessed Coalbed-Gas Resources in the United States: <https://pubs.usgs.gov/dds/dds-069/dds-069-ii/>

Usman, A., & Nathan, M. (2016). *Unconventional Oil and Gas Resources: Exploitation and Development*.

Vetter, A. (2016, August). *Shale Gas Information Platform*. Ανάκτηση από Shale gas in Germany – the current status: <http://www.shale-gas-information-platform.org/areas/the-debate/shale-gas-in-germany-the-current-status.html>

von Flatern, R. (2016). *Multilateral wells*. *Oilfield Review* . Schlumberger.

Wang, H., & Chengzao, J. (2016). Wang H. ChengzaoJ. Assessment of global unconventional oil and gas resources. *Petroleum Exploration and Development* .

Wang, Y., & Hefley, W. (2016). *The Global Impact of Unconventional Shale Gas Development, Economics, Policy, and Interdependence*. Springer.

Warlick International. (2009). *North American Unconventional Gas Market Report. Edition 1 of 2*.

Waxman, H., Markey, E. J., & DeGette, D. (2011). *Chemicals used in hydraulic fracturing*. United States House of Representatives, Committee on Energy and Commerce Minority Staff.

Wells, D. (2012). *Colorado 2008 Emissions Inventory*. Colorado Department of Public Health and Environment, Denver, .

Whitaker, M., Heath, G., O'Donoughu, P., & Vorum, M. (2012). Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Coal-Fired Electricity Generation. *Journal of Industrial Ecology* .

WisconsinDepartmentofNaturalResources. (2011). *Report to the Natural Resources Board: Silica Study*.

World Energy Council. (2016). *World Energy Resources : Unconventional gas, a global phenomenon*.

World Energy Council. (2016). *World Energy Resources*.

WorldEnergyCouncil. (2016). *World Energy Resources* .

WPI. (2013). *Marcellus Shale: Cementing and Well Casing Violations*. Department of Energy, Unites States of America.

WRI. (2012). *Defining the shale gas life cycle: a framework for indentifying and mitigating environmental impacts*.

Wygrala, B. (2012-2013). Basin and Petroleum Systems Modelling: Technology and Applications for Petroleum Exploration Risk and Resource Assessments . *EAGE*. Schlumberger.

Zee Ma, Y., & Holditch, S. A. (2016). *Unconventional Oil and Gas Resources Handbook, Evaluation and Development*. Elsevier.

Zendehboudi, S., & Bahadori, A. (2016). *Shale Oil and Gas Handbook, Theory, Technologies, and Challenges*. Elsevier.

Zendehboudi, S., & Bahadori, A. (2016). *Shale Oil and Gas Handbook, Theory, Technologies, and Challenges*. Elsevier.

Zhang, D. (2015). *ZhanEnvironmental impacts of hydraulic fracturing in shale gas development in the United States*.

Zhiltsov, S. (2017). *Shale Gas: Ecology, Politics, Economy*. Springer .

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

EIA. (2016). Ανάκτηση από

https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/res_epg0_r5302_nus_bcfa.htm

ΓΜΕΜ. (2012). *ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ ΓΙΑ ΤΟ ΘΕΜΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΙΑ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟ ΑΕΡΙΟ (SHALE GAS/BLACK SHALE) ΚΑΙ ΒΙΤΟΥΜΕΝΙΟΥΧΟΥ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΥ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΑΙ ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΩΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΠΙΘΑΝΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΧΙΣΤΟ*.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 . Ευρωπαϊκές μελέτες σχετικά με το σχιστολιθικό αέριο

Έκθεση της Philippe and partners προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Η Γενική Διεύθυνση Ενέργειας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ανέθεσε στην εταιρεία PhilippeandPartners, με έδρα τις Βρυξέλλες, την εκπόνηση έκθεσης σχετικά με την καταλληλότητα της περιβαλλοντικής νομοθεσίας της Ε.Ε. για τα έργα σχιστολιθικού αερίου. Τον Νοέμβριο του 2011 δημοσιεύθηκε έκθεση (*FinalReportonUnconventionalGasinEurope*) σχετικά με την ενσωμάτωση των οδηγιών της ΕΕ στο εθνικό δίκαιο που επιτρέπει στα Κράτη Μέλη να ρυθμίζουν τις δραστηριότητες του σχιστολιθικού φυσικού αερίου στη δική τους δικαιοδοσία.

Σύμφωνα με την άνω έκθεση, διαπιστώθηκε ότι η ευρωπαϊκή περιβαλλοντική νομοθεσία εφαρμόζεται σε όλα τα στάδια της ανάπτυξης του μη συμβατικού αερίου. Επίσης, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο (στις υπό μελέτη χώρες: Γερμανία, Γαλλία, Πολωνία και Σουηδία), δεν υπάρχουν σημαντικά κενά στο νομοθετικό πλαίσιο που ρυθμίζει τις δραστηριότητες σχιστολιθικού αερίου. Εντούτοις, πρότεινε ότι εάν οι σχετικές δραστηριότητες επρόκειτο να επεκταθούν σημαντικά απαιτούνταν κάποιες βελτιώσεις στην εθνική νομοθεσία, τις οποίες εισηγήθηκε, συμπεριλαμβανομένης της διαδικασίας για τη συμμετοχή των πολιτών ήδη από τα πρώτα στάδια εκτίμησης των επιπτώσεων.

Ωστόσο, η έκθεση επικρίθηκε ότι υπήρξε προκατειλημμένη, καθώς η νομική εταιρία είχε πολλούς πελάτες εταιρείες σχιστολιθικού αερίου που ασχολούνται με δραστηριότητες σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ. Αυτή ήταν μια σαφής σύγκρουση συμφερόντων (conflict of interest), εξαιτίας της οποίας η νομική εταιρία θα έπρεπε να έχει εξαιρεθεί από τον διαγωνισμό για την ανάθεση της εν λόγω έκθεσης.

Κατευθυντήριες γραμμές της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, 2011 (European Commission EIA guidance, 2011)

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, τον Δεκέμβριο του 2011, εξέδωσε σημείωμα με κατευθυντήριες γραμμές (guidance note) σχετικά με την εφαρμογή της Οδηγίας 85/337/EEC σε έργα που αφορούν την έρευνα και εκμετάλλευση μη συμβατικών υδρογονανθράκων, και πιο συγκεκριμένα σε προηγμένες τεχνικές όπως η υδραυλική ρωγμάτωση και η οριζόντια Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

γεώτρηση (*Guidance note on the application of Directive 85/337/EEC to projects related to the exploration and exploitation of unconventional hydrocarbon*).

Η οδηγία αυτή εξασφαλίζει ότι η διαδικασία αδειοδότησης περιλαμβάνει περιβαλλοντικά ζητήματα με δυνητικά σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη συμμετοχή του κοινού στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη χορήγηση αδειών. Στις κατευθυντήριες γραμμές αποσαφηνίζονται επίσης το κατώφλι (thresholds) πέραν του οποίου η Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων-EIA καθίσταται υποχρεωτική. Το συμπέρασμα ήταν ότι υπάρχει ήδη ένα περιεκτικό περιβαλλοντικό νομικό πλαίσιο το οποίο ισχύει τόσο για τις δραστηριότητες συμβατικών όσο και μη συμβατικών υδρογονανθράκων, από το στάδιο της αδειοδότησης (permitting) μέχρι το στάδιο της αποκατάστασης (decommissioning).

Janez Potocnik: σημείωμα μετάδοσης

Καθώς η δημόσια ανησυχία έβαινε αυξανόμενη λόγω των δραστηριοτήτων σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (ΕΚ) εισηγήθηκε καθοδήγηση (guidance) από τον Επίτροπο Περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το νομικό πλαίσιο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών υδρογονανθράκων. Την 20^η Ιανουαρίου 2012, εκδόθηκε μια νομική αξιολόγηση (legalassessment) (*Transmission Note on the EU environmental legal framework applicable to shale gas projects*) που διενεργήθηκε από τις υπηρεσίες της Επιτροπής και δίνει το περίγραμμα των εργασιών όρυξης οριζόντιας γεώτρησης, εφαρμογής της υδραυλικής ρωγμάτωσης και παραγωγής σχιστολιθικού αερίου, καθώς και τις δυνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα διάφορα στάδια του έργου, ενώ παράλληλα επεξηγείται η υφιστάμενη νομοθεσία της ΕΕ που αφορά τις εν λόγω δραστηριότητες. Επιβεβαιώθηκε ότι η Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων πρέπει να εφαρμόζεται στο στάδιο έγκρισης του έργου, καθώς και η ανάγκη συμμετοχής του κοινού στη λήψη αποφάσεων (Janez Potocnik, 2012)

Μελέτες του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο έχει αναλάβει τη συζήτηση για διάφορες πτυχές της ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου. Μια έκθεση που υποβλήθηκε στην Επιτροπή Περιβάλλοντος, Δημόσιας Υγείας και Ασφάλειας των Τροφίμων (*Impacts of Shale Gas extraction on the environment and on human health*) (European Parliament, 2011) διαπίστωσε ότι το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο σχετικά με την υδραυλική ρωγμάτωση παρουσιάζει ορισμένες ελλείψεις. Η σημαντικότερη επισήμανση αφορούσε το υψηλό κατώφλι που τίθεται για την εφαρμογή της Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Σημειωτέον, υπογράμμισε την

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

αναγκαιότητα αναθεώρησης της οδηγία – πλαισίου για τα ύδατα επικεντρώνοντας τις δυνητικές επιπτώσεις από την υδραυλική ρωγμάτωση στα επιφανειακά ύδατα και ζήτησε την εξέταση της απαγόρευσης της χρήσης τοξικών χημικών ουσιών.

Άλλη έκθεση που υποβλήθηκε στην ίδια επιτροπή (*Report on the environmental impacts of shale gas and shale oil extraction activities*) και εκπονήθηκε από βουλευτή της Πολωνίας (Bogusław Sonik), υποστηρίζει περισσότερο την αξιοποίηση του μη συμβατικού φ.α. (European Parliament, 2011), αναγνωρίζοντας ωστόσο την ανάγκη να αντιμετωπιστούν οι ανησυχίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εξόρυξή του.

Σε έκθεση της Επιτροπής ITRE (Industry, Energy and Research), σχετικά με τις «βιομηχανικές, ενεργειακές και άλλες πτυχές του σχιστολιθικού φ.α. και πετρελαίου» αναγνωρίστηκε κρίσιμος ρόλος της παγκόσμιας παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ενεργειακή ασφάλεια και την ενεργειακή διαφοροποίηση (diversification) σε μακροπρόθεσμο επίπεδο. Στην εν λόγω έκθεση περιλαμβάνεται η συμβολή του σχιστολιθικού φ.α. και πετρελαίου στην επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την εξάλειψη των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η έκθεση επανέλαβε ότι κάθε Κράτος Μέλος έχει το δικαίωμα να αποφασίζει κατά πόσον θα εκμεταλλευτεί το σχιστόλιθο αέριο και πετρέλαιο, ενώ ζήτησε επίσης από τα κράτη να θέσουν σε εφαρμογή ένα «ισχυρό κανονιστικό πλαίσιο» για την εξασφάλιση όλων των απαραίτητων διοικητικών και εποπτικών πόρων (administrative and monitoring resources) για τη βιώσιμη ανάπτυξη όλων των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με το σχιστολιθικό αέριο (European Parliament, 2012).

Τον Μάρτιο του 2014, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε την αναθεώρηση της Οδηγίας για την Εκτίμηση των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (**Environmental Impact Assessment Directive**), μετά από συμβιβαστική συμφωνία με το Συμβούλιο. Παρά τα αιτήματα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, η συμφωνία δεν περιλαμβάνει υποχρεωτική Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την έρευνα και την εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου. Εντούτοις, θα πρέπει να εξεταστούν ορισμένες πτυχές των έργων σχιστολιθικού, ιδίως οι κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία λόγω της ρύπανσης των υδάτων, της χρήσης του εδάφους και του νερού, καθώς και της ποιότητας και της ικανότητας αναγέννησης (regenerative capacity) του υπόγειου νερού. Τέλος, εάν από τα κράτη μέλη παρθεί απόφαση ότι δεν απαιτείται εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, είναι αναγκαία η αιτιολόγησή της.

Μελέτες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής

Από το 2012, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε μια σειρά μελετών για τα μη συμβατικά ορυκτά καύσιμα και ειδικότερα το σχιστολιθικό αέριο, αντιμετωπίζοντας ιδιαίτερα τις δυνητικές επιπτώσεις στην ενεργειακή αγορά και το κλίμα, τους πιθανούς κινδύνους για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, τις κανονιστικές διατάξεις που ισχύουν σε επιλεγμένα κράτη μέλη όσον αφορά την καταχώριση ορισμένων ουσιών που ενδεχομένως χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ρωγμάτωση στο πλαίσιο του REACH (**REACH Regulation**).

Ο κανονισμός REACH απαιτεί από τους παρασκευαστές ή εισαγωγείς ουσιών στην ΕΕ να καταχωρούν τις ουσίες αυτές στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Χημικών Προϊόντων-ECHA εντός χρονικού διαστήματος που εξαρτάται από την τοξικότητα της ουσίας και τον όγκο που παράγει ή εισάγει κάθε καταχωρίζων ετησίως. Η τελική προθεσμία καταχώρισης είναι η 31η Μαΐου 2018 για τις ουσίες που παρασκευάζονται ή εισάγονται σε ποσότητες 1 τόνου και άνω. Επιπλέον, απαιτείται αξιολόγηση χημικής ασφάλειας (με σενάρια έκθεσης) όταν μια ουσία παρασκευάζεται ή εισάγεται σε ποσότητες 10 τόνων και άνω ετησίως. Χρησιμοποίησε επίσης εκθέσεις από ακαδημαϊκούς κύκλους, διεθνείς οργανισμούς και μελέτες που πραγματοποιήθηκαν από τα κράτη μέλη για την υποστήριξη της ανάλυσής της.

Τον Σεπτέμβριο του 2012, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε τρεις μελέτες, σχετικά με το σχιστολιθικό αέριο:

- ✓ Μελέτη σχετικά με τους δυνητικούς κινδύνους για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία από την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη (*Potential risks for the environment and human health arising from shale gas extraction in Europe*). Συνοπτικά, η μελέτη τεκμηριώνει ότι η εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου γενικά προκαλεί μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα από την ανάπτυξη του συμβατικού φ.α. Οι κίνδυνοι ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, η εξάντληση των υδάτινων πόρων, οι εκπομπές αερίων και θορύβου, η μεγάλη απαίτηση γης, η διαταραχή της βιοποικιλότητας και οι επιπτώσεις που σχετίζονται με την οδική κυκλοφορία θεωρούνται υψηλές στην περίπτωση πολλαπλών έργων. Εντόπισε επίσης ελλείψεις στην υφιστάμενη νομοθεσία και τους κανονισμούς, που καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη του κατάλληλου πλαισίου για την εξασφάλιση περιβαλλοντικά αποδεκτής εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη (European Commission, 2012).

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

- ✓ Μελέτη σχετικά με την επίπτωση στο κλίμα από την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου (Climate Impact of Potential Shale Gas Production in the EU). Συνοπτικά, η μελέτη τεκμηριώνει ότι το σχιστολιθικό αέριο που παράγεται στην ΕΕ προκαλεί περισσότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από το συμβατικό φ.α. που παράγεται στην ΕΕ. Ωστόσο, εάν υπάρξει κατάλληλη και επαρκής διαχείρισή του, τότε προκαλεί λιγότερες εκπομπές από το εισαγόμενο φ.α. που παράγεται εκτός της ΕΕ, και μεταφέρεται στην Ευρώπη είτε μέσω δικτύου αγωγών είτε ως LNG, λόγω των εκπομπών κατά τη μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις (European Commission, AEA, 2012).
- ✓ Μελέτη σχετικά με τις επιπτώσεις στην ενεργειακή αγορά (Unconventional gas: Potential energy market impacts in the European Union). Συνοπτικά, η μελέτη αυτή δείχνει ότι οι εξελίξεις στον τομέα του μη συμβατικού αερίου στις ΗΠΑ έχουν οδηγήσει σε αύξηση του εφοδιασμού σε υδροποιημένο φ.α. (LNG) σε παγκόσμιο επίπεδο, επηρεάζοντας έμμεσα τις τιμές του φ.α. στην ΕΕ (European Commission, Joint Research Center, 2012).

Το 2013, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε τις ακόλουθες μελέτες:

- ✓ Μελέτη σχετικά με τις κανονιστικές διατάξεις που διέπουν καίριες πτυχές της ανάπτυξης του μη συμβατικού φ.α. σε οκτώ κράτη μέλη (Study on the regulatory provisions governing key aspects of unconventional gas development in eight Member States). Συνοπτικά, ο κύριος στόχος αυτής της μελέτης ήταν ο προσδιορισμός των διαφορών και των ομοιοτήτων στις προσεγγίσεις για την ανάπτυξη του μη συμβατικού φ.α. που ακολουθούνται από τα επιλεγέντα κράτη μέλη (Βουλγαρία, Δανία, Γερμανία, Λιθουανία, Πολωνία, Ρουμανία, Ισπανία και Ηνωμένο Βασίλειο), και η εξέταση των δυνητικών περιορισμών και χρήσιμων παραδειγμάτων των κανονιστικών διατάξεων. Οι χώρες αυτές επιλέχθηκαν ως επεξηγηματικές περιπτώσεις με βάση τη γεωγραφική, πολιτιστική και νομική ποικιλομορφία τους και το ενδεχόμενο ενδιαφέρον τους για την άντληση μη συμβατικού φ.α. και ειδικότερα σχιστολιθικού αερίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μελέτη εξετάζει εθνικές διατάξεις που αποσκοπούν στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των κινδύνων που απορρέουν από την εξόρυξη μη συμβατικού αερίου, ορισμένες από τις οποίες μπορεί να έχουν ιδιαίτερη διασυνοριακή σημασία (π.χ. ρύπανση των υδάτων και του αέρα, επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα). Η συγκριτική ανάλυση της εθνικής νομοθεσίας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν ορισμένα πιθανά ρυθμιστικά κενά και νομικές αβεβαιότητες, αλλά ανέδειξε και τομείς στους οποίους η ισχύουσα νομοθεσία μπορεί να θεωρηθεί επαρκής για την κάλυψη των ειδικών
- Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου*

επιπτώσεων της έρευνας και εκμετάλλευσης μη συμβατικού φ.α. Εντόπισε ορισμένα χρήσιμα παραδείγματα κανονιστικών διατάξεων που εφαρμόζονται ειδικά στις δραστηριότητες μη συμβατικού αερίου στα επιλεγμένα κράτη μέλη (π.χ. διαχείριση της επαγόμενης σεισμικότητας). Αρκετά κράτη μέλη βρίσκονται στη διαδικασία εκπόνησης νέων νομικών κειμένων ή αναθεώρησης της υφιστάμενης νομοθεσίας για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των επιπτώσεων στην υγεία από τις δραστηριότητες μη συμβατικού φ.α. (European Commission, Directorate General Environment, Directorate F – Strategy, 2013).

- ✓ Αξιολόγηση της χρήσης ορισμένων ουσιών για την υδραυλική ρωγμάτωση των ταμειωτήρων σχιστολιθικού αερίου βάσει του κανονισμού REACH (*Assessment of the use of certain substances in hydraulic fracturing of shale gas reservoirs under REACH*). Η έκθεση αυτή καταλήγει στο συμπέρασμα ότι πρέπει να εξεταστεί το ενδεχόμενο αύξησης των διαθέσιμων πληροφοριών σχετικά με τη χρήση, την έκθεση και τη διαχείριση κινδύνου για τις ουσίες που χρησιμοποιούνται στα ρευστά της υδραυλικής ρωγμάτωσης και διατυπώνει κάποιες προτάσεις. Η έκθεση δεν θεωρεί ότι μέχρι σήμερα η βιομηχανία έχει ενεργήσει κατά τρόπο μη συμμορφούμενο στις ισχύουσες διατάξεις. Απαιτείται προσεκτική νομική και τεχνική ανάλυση των συστάσεων προκειμένου να διασφαλιστεί ότι δεν θα τεθεί στη βιομηχανία δυσανάλογο βάρος (λαμβάνοντας υπόψη το στόχο του κανονισμού REACH να διασφαλιστεί ότι οι κίνδυνοι από ουσίες είναι κατανοητοί και σωστά διαχειριζόμενοι). Κατά την τελευταία διετία αναγνωρίστηκε ότι ο REACH (που καλύπτει τις ουσίες και όχι τα πρόσθετα) δεν είναι ο μηχανισμός για την αντιμετώπιση των ανησυχιών του κοινού σχετικά με τη δημοσιοποίηση των χημικών συστατικών του ρευστού της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Έτσι, η βιομηχανία ανταποκρινόμενη στις εν λόγω ανησυχίες, οδηγήθηκε στην ανάπτυξη της *Υπηρεσίας Διαφάνειας Ρευστού και Πρόσθετων Συστατικών Υδραυλικής Ρωγμάτωσης NGS* (*NGS Hydraulic Fracturing Fluid and Additive Component Transparency Service*) (European Commission, Joint Research Centre Institute for Health and Consumer Protection, 2013).
- ✓ Μελέτη για την αξιολόγηση των σεναρίων χρήσης γης και ύδατος για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου: Πολωνία και Γερμανία (*Study on the assessment of land and water use scenarios for shale gas development: Poland and Germany*). Συνοπτικά, η μελέτη επικεντρώνεται στις πιέσεις που ασκούνται στα αποθέματα πόσιμου νερού και στον ανταγωνισμό για τις χρήσεις γης κατά την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου σε ενδεικτικές μελέτες περιπτώσεων στη Γερμανία και την Πολωνία. Η μελέτη καταλήγει

στο συμπέρασμα ότι τόσο η κατάληψη όσο και τα πρότυπα κατανομής των wellpads για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Ο βαθμός στον οποίο η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου θα μπορούσε πράγματι να οδηγήσει σε κατακερματισμό του τοπίου και σε σύγκρουση με άλλες χρήσεις γης θα εξαρτηθεί από την κλίμακα ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου και από λοιπούς παράγοντες όπως η πυκνότητα των wellpads και ο αριθμός των γεωτρήσεων ανά pad, οι γεωλογικές ιδιαιτερότητες των ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου. Οι μεταβλητές αυτές θα είναι επίσης καθοριστικές για τον προσδιορισμό του αριθμού των ανθρώπων που ζουν κοντά σε γεωτρήσεις σχιστολιθικού αερίου, οι οποίες ενδέχεται να εκτεθούν σε εκπομπές σε περίπτωση λειτουργικής ή τυχαίας έκλυσης χημικών ουσιών. Σύμφωνα με το σενάριο της μέσης επίπτωσης (Average Impact Scenario), οι εκτάσεις που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής έκτασης γης στο πλαίσιο του σχιστολιθικού σχηματισμού. Οι εκτάσεις για την εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου ως ποσοστό της συνολικής γης που μετατράπηκε για βιομηχανικούς σκοπούς σε ολόκληρη τη χώρα κατά την περίοδο 2006-2028 είναι 2% στην Πολωνία και τη Γερμανία. Αυτές οι τιμές κυμαίνονται από 2% - 4% και για τις δύο χώρες για τα σενάρια χαμηλών και υψηλών επιπτώσεων, αντίστοιχα (European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, 2013).

- ✓ Μελέτη επισκόπησης της υδραυλικής ρωγμάτωσης και άλλων τεχνολογιών διέγερσης σχηματισμού για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου (Overview of hydraulic fracturing and other formation stimulation technologies for shale gas production). Η μελέτη αυτή δημοσιεύτηκε αρχικά το 2013, και επικαιροποιήθηκε το 2015. Εν συντομία, η μελέτη εξετάζει την υδραυλική ρωγμάτωση και εναλλακτικές τεχνολογίες ρωγμάτωσης, μέσω της αναζήτησης ανοιχτής βιβλιογραφίας, των βάσεων δεδομένων διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας και των εμπορικών ιστοσελίδων. Κάθε εξειδικευμένη τεχνική εξηγείται εν συντομία, προσδιορίζεται το σκεπτικό της, η εφαρμογή της, τα πιθανά πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα και διατυπώνονται ορισμένες σκέψεις σχετικά με το κόστος. Τέλος, παρουσιάζεται η στάθμη της εμπορικά εφαρμοζόμενης τεχνολογίας όσον αφορά την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου (European Commission, Joint Research Centre, 2015).

Μεταξύ Απριλίου και Αυγούστου του 2014, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε τρεις νέες μελέτες σχετικά με το σχιστολιθικό αέριο, οι οποίες υποστήριξαν τις εργασίες της Επιτροπής σχετικά με τη Σύσταση, την Ανακοίνωση και την Μελέτη των Επιπτώσεων:

- ✓ Μελέτη σχετικά με τη μείωση των κλιματικών επιπτώσεων της πιθανής μελλοντικής εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου στην Ε.Ε.: διαθέσιμες τεχνολογίες, βέλτιστες πρακτικές και επιλογές για τους φορείς χάραξης πολιτικής (*Study on Mitigation of climate impacts of possible future shale gas extraction in the EU: available technologies, best practices and options for policymakers*). Η μελέτη αυτή αποτελεί συνέχεια της μελέτης του 2012 με τίτλο «Κλιματική επίπτωση της δυνητικής παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση». Σκοπός της ήταν η ανάπτυξη μιας λίστας πιθανών πολιτικών επιλογών για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της έρευνας και παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ και η αξιολόγηση των κλιματικών, περιβαλλοντικών και οικονομικών τους επιπτώσεων. Οι ειδικοί στόχοι της μελέτης ήταν η ανάλυση της διεθνούς εμπειρίας για την ελαχιστοποίηση των διαφεύγουσων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ώστε να εντοπιστούν οι βέλτιστες πρακτικές, για την ελαχιστοποίηση αυτών των εκπομπών, η επισκόπηση των διαφόρων επιλογών πολιτικής για ένα πιθανό κανονιστικό πλαίσιο με σκοπό την ελαχιστοποίηση αυτών των εκπομπών και η ανάλυση των κλιματικών, περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων που απορρέουν από τις βασικές πολιτικές επιλογές (European Commission, Directorate-General for Climate Action, 2014).
- ✓ Μελέτη σχετικά με τις μακροοικονομικές επιπτώσεις της εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ (*Macro-economic effects of shale gas extraction in the EU*). Ο γενικός στόχος αυτής της μελέτης ήταν να αξιολογήσει τις επιπτώσεις των διαφόρων πολιτικών διαχείρισης του περιβαλλοντικού κινδύνου του σχιστολιθικού αερίου στο ενεργειακό σύστημα και την οικονομία, βάσει σεναρίων (European Commission, Directorate-General for Climate Action, 2014).
- ✓ Τεχνική μελέτη για την αξιολόγηση της ανάγκης διαχειριστικού πλαισίου όσον αφορά τους κινδύνους από την εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου (*Technical support for assessing the need for a risk management framework for shale gas extraction*). Η έκθεση παρουσιάζει μια επισκόπηση των ζητημάτων που συνδέονται με την εξόρυξη φ.α. μέσω της υδραυλικής ρωγμάτωσης μεγάλου όγκου και οριζόντιων γεωτρήσεων από περιβαλλοντική και κανονιστική οπτική, αξιολόγηση των διαθέσιμων μέτρων για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών κινδύνων και των επιπτώσεών τους, καθώς και μια

περιγραφή επιλεγμένων επιλογών πολιτικής που είναι διαθέσιμες για την εφαρμογή τέτοιων μέτρων (European Commission DG Environment, AMEC Environment & Infrastructure UK Limited, 2014).

Τον Φεβρουάριο του 2016, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε τη μελέτη σχετικά με την εφαρμογή σε 11 κράτη μέλη της Σύστασης 2014/70/ΕΕ (*Study on the application in 11 Member States of the Recommendation 2014/70/EU on minimum principles for the exploration and production of hydrocarbons (such as shale gas) using high-volume hydraulic fracturing*). Σύμφωνα με αυτή, με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες, δεν υπάρχει συνεχής εμπορική παραγωγή υδρογονανθράκων μέσω της χρήσης υδραυλικής πραγμάτωσης μεγάλου όγκου (HVHF) στην ΕΕ. Εντούτοις, ορισμένα κράτη μέλη έχουν χορηγήσει ή σχεδιάζουν να χορηγήσουν άδειες για έρευναή παραγωγή μη συμβαντικών υδρογονανθράκων (όπως το σχιστολιθικό αέριο) που μπορεί να απαιτούν τη χρήση HVHF (Αυστρία, Δανία, Γερμανία, Ουγγαρία, Λιθουανία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Ισπανία και Ηνωμένο Βασίλειο). Η μελέτη αξιολογεί τον τρόπο με τον οποίο τα κράτη μέλη εφάρμοσαν τις αρχές της Σύστασης και τις επιλεγμένες νομικές απαιτήσεις της ΕΕ σε επίπεδο προγραμματισμού και αδειοδότησης, βάσει δεδομένων που συλλέχθηκαν από τον Ιανουάριο του 2014 έως τον Αύγουστο του 2015. Επιπλέον, περιγράφει τις κανονιστικές και μη κανονιστικές εξελίξεις στα κράτη μέλη μετά την έγκριση της Σύστασης, συγκεντρώνει τις απόψεις των ενδιαφερομένων μερών, ενώ παράλληλα συγκεντρώνει πληροφορίες σχετικά με το ενδεχόμενο κόστος των μέτρων που λαμβάνονται ως αποτέλεσμα της έγκρισης της Σύστασης (European Commission, Directorate - General for the Environment, 2014).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2. Νέα στρατηγική LNG της Ευρωπαϊκής Επιτροπής

Τον Φεβρουάριο του 2016, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε το πακέτο της αειφόρου ενέργειας με ορισμένα μέτρα που αποσκοπούν στην αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας της ΕΕ. Το εν λόγω πακέτο περιλαμβάνει μια νέα στρατηγική για το LNG, η οποία στοχεύει να καταστήσει την Ευρώπη, που συχνά χαρακτηρίζεται ως «έσχατη λύση (last resort)» για τις εξαγωγές LNG, περισσότερο ελκυστική.

Η Επιτροπή προωθεί την ευνοϊκή οικονομική κατάσταση στην παγκόσμια αγορά LNG, η οποία παρέχει στην ΕΕ μοναδική ευκαιρία να ενισχύσει την ασφάλεια του εφοδιασμού και την ανταγωνιστικότητά της, καθώς οι αγορές εκτίθενται σε μεγαλύτερο ανταγωνισμό μεταξύ των διεθνών προμηθευτών. Αναφέρει επίσης ότι η εμφάνιση της τεχνολογίας FSRU (Floating Storage Regasification Units) μεταβάλλει τη δυναμική των επενδύσεων στις δυνατότητες εισαγωγών. Η Επιτροπή αναφέρει ως παράδειγμα τον τερματικό σταθμό FSR Klaipėda στη Λιθουανία, ο οποίος βοήθησε τη χώρα να βελτιώσει τη διαφοροποίηση (diversity) της προμήθειας φ.α. και την ανταγωνιστικότητά της.

Προκειμένου να βελτιωθεί η πρόσβαση όλων των κρατών μελών στο LNG ως εναλλακτική πηγή φ.α., η στρατηγική LNG προσδιορίζει τρεις βασικές δράσεις που καλείται να υλοποιήσει η ΕΕ:

- Κατασκευή των αναγκαίων υποδομών για την ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς (internal market), έτσι ώστε όλα τα κράτη μέλη να έχουν πρόσβαση στις διεθνείς αγορές LNG, είτε άμεσα είτε μέσω άλλων κρατών μελών. Η Επιτροπή αναγνωρίζει ότι στη Βορειοδυτική Ευρώπη οι αγορές είναι ανταγωνιστικές, καλώς συνδεδεμένες και έχουν πρόσβαση σε διάφορες πηγές φ.α., συμπεριλαμβανομένων των τερματικών σταθμών που παρέχουν σημαντικές δυνατότητες εισαγωγής LNG. Ωστόσο, οι αγορές φ.α. είναι λιγότερο ανεπτυγμένες στις περιοχές της Βαλτικής Θάλασσας, της Κεντρικής Ευρώπης, της Νοτιοανατολικής Ευρώπης και της νοτιοδυτικής Ευρώπης. Βάσει του καταλόγου των έργων κοινού ενδιαφέροντος, η στρατηγική LNG περιλαμβάνει επίσης έναν κατάλογο των μεγάλων έργων υποδομής, έτσι ώστε όλα τα κράτη μέλη να έχουν πρόσβαση στο LNG.

Παράρτημα 2

- Ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς φ.α. έτσι ώστε να προσελκύει τη διάθεση LNG όπου αυτό είναι αναγκαίο και, συνεπώς, να διευκολύνει τις απαραίτητες επενδύσεις.
- Επίτευξη στενής συνεργασίας με τους διεθνείς εταίρους για την προώθηση των παγκόσμιων αγορών LNG που είναι ελεύθερες, ευέλικτες και διαφανείς (free, liquid, and transparent). Αυτό συνεπάγεται διάλογο με τους σημερινούς και τους μελλοντικούς προμηθευτές καθώς και με τις μεγάλες καταναλωτικές χώρες, έτσι ώστε το LNG να μπορεί να κυκλοφορεί ελεύθερα στις παγκόσμιες αγορές (European Commission, 2016).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3. Κατάλογος αρτικόλεξων και συντομογραφιών

Bbl - Barrel

Bcf - Billion cubic feet

Bcm – Billion cubic meters

Btu - British thermal unit

CBM - coalbed methane

CH₄ - Methane

CNG - Compressed Natural Gas

CO₂ - Carbon dioxide

DOE - Department of Energy

EIA - Energy Information Administration

EPA - Environmental Protection Agency

ERR – Economically recoverable resource

FSRU - Floating Storage Regasification Units

GHG - Greenhouse gas

IEA - International Energy Agency

LNG - Liquefied natural gas

LSG - Liquefied shale gas

Mbbl - Thousand barrels

MMbtu - Million British thermal units

MMcf - Million cubic feet

NGL - Natural gas liquids

OGIP - Original Gas In Place

Tcf - Trillion cubic feet

Σχιστολιθικό Αέριο: Οι νέες τάσεις που διαμορφώνονται στη διεθνή αγορά του φυσικού αερίου

Tcm – Trillion cubic meters

TOC – Total organic carbon

TRR - Technically recoverable resource

URR – Ultimately recoverable resource

