



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη της επίδρασης των μη συμβατικών πηγών φυσικού
αερίου στο ενεργειακό σύστημα σε παγκόσμιο και
ευρωπαϊκό επίπεδο**

Νικόλαος Κ. Κώτσιος

Επιβλέπων: Κάπρος Παντελής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη της επίδρασης των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου στο ενεργειακό σύστημα σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο

Νικόλαος Κ. Κώτσιος

Επιβλέπων: Κάπρος Παντελής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή

.....
ΠΑΝΤΕΛΗΣ ΚΑΠΡΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΒΟΥΡΝΑΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΟΡΡΕΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2013

.....

Νικόλαος Κ. Κώτσιος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright ©Νικόλαος Κ. Κώτσιος, 2013.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Παντελή Κάπρο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το παρόν ερευνητικό αντικείμενο αλλά και για την καθοδήγηση του. Επίσης ευχαριστώ θερμά τον διδάκτορα Π. Φράγκο για την πολύτιμη βοήθεια του, για το χρόνο που αφιέρωσε, τις συμβουλές του και τις υποδείξεις του για τη σύνταξη και ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους απασχολούνται στο Εργαστήριο Υποδειγμάτων Οικονομίας-Ενέργειας-Περιβάλλοντος του ΕΜΠ για την συνεργασία τους καθ'όλη την παραμονή μου σε αυτό.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου σε βασικές μεταβλητές του ενεργειακού συστήματος και του περιβάλλοντος σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι μεταβλητές αυτές περιλαμβάνουν την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου, τον λόγο των παγκόσμιων αποθεμάτων προς την παγκόσμια παραγωγή (R/P ratio) του φυσικού αερίου, την πρωτογενή ζήτηση των ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακας, πετρέλαιο), τα μερίδια των τεχνολογιών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, κατασκευάσαμε ένα μοντέλο με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος E-VIEWS 6 για την στοχαστική μοντελοποίηση των πόρων μη συμβατικού αερίου. Οι τρεις κύριοι τύποι μη συμβατικού αερίου είναι το σχιστολιθικό αέριο (shale gas), το έγκλειστο αέριο (tight gas) και το μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων (coalbed methane). Στη συνέχεια μοντελοποιήσαμε στοχαστικά τους συντελεστές απόληψης (recovery factors) για τα τρία αυτά είδη μη συμβατικού αερίου. Έτσι, καταφέραμε να δημιουργήσουμε την στοχαστική κατανομή των αποθεμάτων (reserves) των τριών τύπων μη συμβατικού αερίου. Τέλος, ενσωματώσαμε τις στοχαστικές οικονομικές εξισώσεις που προέκυψαν στο στοχαστικό ενεργειακό μοντέλο PROMHΘΕΑΣ που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο E3MLab του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Προκειμένου να εξετάσουμε την επίδραση της διεύρυνσης της παγκόσμιας προμήθειας φυσικού αερίου με την προσθήκη των αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου στο παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα δημιουργήσαμε δύο σενάρια.

Στο σενάριο αναφοράς θεωρήσαμε ότι δεν υπάρχει εκμετάλλευση των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου καθώς δεν ξεπερνιούνται περιβαλλοντικά, οικονομικά, τεχνικά και κοινωνικά εμπόδια. Επιπλέον, στο σενάριο αυτό είναι περιορισμένες οι γεωλογικές γνώσεις για τα κοιτάσματα μη συμβατικού αερίου ενώ σε πολλές χώρες υπάρχει απαγόρευση της τεχνολογίας που είναι απαραίτητη για την εξόρυξη του ενώ σε όλον τον κόσμο επιβάλλονται αυστηροί περιορισμοί για διερευνητικές γεωτρήσεις.

Αντίθετα, στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για την εκμετάλλευση των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου. Στο σενάριο αυτό θεωρήσαμε ότι υπάρχει πρόσβαση σε γεωλογικά δεδομένα σχετικά με μη συμβατικούς σχηματισμούς ενώ το κανονιστικό και ρυθμιστικό πλαίσιο ευνοεί τις επενδύσεις για εξερεύνηση κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου. Η τεχνολογία εξόρυξης μη συμβατικού αερίου σημειώνει πρόοδο με την πάροδο του χρόνου με την βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού και κατάλληλων μεθόδων.

Επιπλέον, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μελετήσαμε την επίδραση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ενεργειακή αγορά φυσικού αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης και πιο συγκεκριμένα στην εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το εισαγόμενο φυσικό αέριο. Η μελέτη αυτή έγινε στα πλαίσια της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης που έχει θέσει ως στόχο την ενίσχυση της ενεργειακής της ασφάλειας με σταδιακή απεξάρτηση από το εισαγόμενο φυσικό αέριο και τη δημιουργία νέων πηγών προμήθειας φυσικού αερίου.

Κατασκευάσαμε ένα ντετερμινιστικό μοντέλο με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος E-VIEWS 6 που περιλαμβάνει οικονομετρικές εξισώσεις για την εκτίμηση της τιμής του φυσικού αερίου στην Ευρώπη (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία) και της παραγωγής συμβατικού και σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη.

Ενσωματώσαμε αυτές τις πρόσθετες οικονομετρικές εξισώσεις στο ενεργειακό μοντέλο ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ προκειμένου να υπολογίσουμε την συνολική παραγωγή αερίου, τις εισαγωγές αερίου και τον βαθμό εξάρτησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης από εισαγωγές φυσικού αερίου. Δημιουργήσαμε δύο σενάρια για να ποσοτικοποιήσουμε την επίδραση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης από εισαγωγές φυσικού αερίου.

Στο σενάριο αναφοράς θεωρήσαμε ότι μόνο η Πολωνία παράγει σχιστολιθικό αέριο σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση ενώ η υστέρηση της Ευρωπαϊκής βιομηχανίας όσον αφορά την γεωλογική γνώση και την τεχνογνωσία ανάπτυξης των σχιστολιθικών σχηματισμών υλοποιήθηκε με την επιλογή ενός χαμηλού συντελεστή απόληψης των πόρων που διαθέτει η Πολωνία.

Στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση θεωρήσαμε ότι το πλαίσιο στην ΕΕ για την εκμετάλλευση των σχιστολιθικών κοιτασμάτων είναι ιδιαίτερα ευνοϊκό με κύριο στόχο της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ την απεξάρτηση από τις εισαγωγές φυσικού αερίου και την εκμετάλλευση των ενδογενών πηγών ενέργειας. Στο σενάριο αυτό υποθέσαμε ότι τα κράτη μέλη της ΕΕ διαθέτουν μεγάλη ποσότητα πόρων σχιστολιθικού αερίου, η δημόσια αποδοχή είναι ιδιαίτερα αυξημένη και ενθαρρύνει τη νέα αυτή πηγή ενέργειας ενώ το οικονομικό, ρυθμιστικό και φορολογικό πλαίσιο ευνοούν την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου. Η μεταφορά της τεχνογνωσίας από τις ΗΠΑ στην ΕΕ και η πραγματοποίηση επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς και διανομής αερίου υλοποιήθηκε με την επιλογή υψηλού συντελεστή απόληψης των πόρων σχιστολιθικού αερίου.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου, Σχιστολιθικό αέριο, Έγκλειστο αέριο, Μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων, Στοχαστικό μοντέλο, ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ, Οικονομετρικές εξισώσεις, Ευρωπαϊκή Ένωση

ABSTRACT

The scope of the present Thesis is the evaluation of the impact of unconventional gas resources in key variables of the energy-environment-economic system worldwide. These variables include the global price of natural gas, the ratio of reserves to production of natural gas, the primary demand for fossil fuels (natural gas, coal, oil), the fuel shares in the world power generation and the global GHGs emissions.

We constructed a model by using the statistical program E-VIEWS 6 for the stochastic modeling of unconventional gas resources. The three main types of unconventional gas are shale gas, tight gas and coalbed methane. We also created the stochastic distribution of recovery rates for these three types of unconventional gas. So, we managed to create the stochastic distribution of the reserves of the three main types of unconventional gas. Finally, we incorporated the stochastic econometric equations in the world stochastic energy model “Prometheus”, which was developed in the laboratory of the National Technical University of Athens.

To examine the effect of the enlargement of the world’s supply of natural gas by adding the reserves of unconventional gas on the global energy system, we created two scenarios.

In the baseline scenario, we considered that there isn’t any exploration of global unconventional gas resources as environmental, economic, technical and social barriers cannot be overcome. Furthermore, the geological knowledge of unconventional gas deposits is limited, there is prohibition of the technology which is necessary for mining and many countries impose strict restrictions on exploratory drilling.

In the scenario of exploitation of unconventional gas resources, conditions are favorable for the development of unconventional gas resources. In this scenario, there is access to geological data of unconventional gas formations, while the legislative and regulatory framework favors the investment for unconventional gas exploration. The extraction technology is progressing over time with the aid of suitable equipment and methods.

Moreover, in the context of this Thesis, we studied the impact of shale gas in the natural gas energy market of the European Union and more specifically in the European Union's dependence on imported natural gas. This approach is part of the European Union's policy which has set as target to increase energy security through gradual independence on imported natural gas and to create alternative sources of gas supply.

We constructed a deterministic model by using the statistical program E-VIEWS 6 which includes econometric equations for the estimation of the natural gas price in Europe and the production of conventional gas and shale gas in Europe.

We incorporated these equations in the energy model "Prometheus" in order to calculate the total gas production, the gas imports and the degree of dependence of the European Union on gas imports. We created two scenarios to quantify the impact of shale gas in the European Union's gas dependence.

In the baseline scenario, we determined that only Poland produces shale gas across the European Union and the European gas industry is lagging behind in terms of geological knowledge and expertise in the development of shale gas formations.

In the scenario of shale gas production across all countries-members of the European Union, we considered that the framework in the European Union is particularly favorable for the exploitation of shale gas deposits and the main objective of the European Union's energy policy is the independence on gas imports and the exploitation of indigenous energy sources. In this scenario, we assumed that the European Union Member States have a large amount of shale gas resources, public acceptance is booming and encourages this new energy source while the economic, regulatory and fiscal framework is conducive to the exploitation of shale gas. The know-how transfers from the U.S to the European Union while the investment in transportation infrastructure and distribution systems is applied with a high recovery factor of shale gas resources.

Key words: Unconventional gas, Shale gas, Tight gas, Coalbed methane, Stochastic model, Prometheus, Econometric equations, European Union

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	21
1.1. Ο στόχος της μελέτης	21
1.2. Οργάνωση του κειμένου	23
1.3. Μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου	25
1.3.1. Εισαγωγικά	25
1.3.2. Τι είναι οι μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου;	26
1.3.3. Είδη μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου	28
1.3.4. Η ιστορία της ανάπτυξης των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες	31
1.3.5. Τεχνολογία στην εξόρυξη των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου	34
1.3.6. Ορισμοί πόρων μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου	41
1.3.7. Εκτίμηση των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου .	44
1.3.8. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	47
1.3.9. Κόστη παραγωγής των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου	58
1.3.10. Εμπόδια στην ανάπτυξη των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Το Μοντέλο ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ.....	65
2.1. Γενικά χαρακτηριστικά	65
2.2. Έξοδος του μοντέλου	65
2.3. Χαρακτηριστικά του μοντέλου.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	71
3.1. Μοντέλο για την κατασκευή της στοχαστικής κατανομής των πόρων μη συμβατικού αερίου (σχιστολιθικού και έγκλειστου).....	71
3.2. Μοντέλο για την κατασκευή της στοχαστικής κατανομής των πόρων μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων (CBM).....	77
3.3. Μοντέλο για την κατασκευή της στοχαστικής κατανομής των συντελεστών απόληψης των πόρων μη συμβατικού αερίου	78
3.4. Προσομοίωση στο μοντέλο PROMETHEUS.....	79
3.5. Διαμόρφωση Σεναρίων	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	83
4.1. Παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου.....	83

4.2.	Λόγος παγκόσμιων αποθεμάτων προς παγκόσμια παραγωγή (R/P ratio) του φυσικού αερίου.....	89
4.3.	Πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου, άνθρακα και πετρελαίου	92
4.4.	Μερίδια κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	99
4.5.	Παγκόσμιες εκπομπές CO ₂	110
4.6.	Πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου, άνθρακα και πετρελαίου στην Ευρώπη ..	114
4.7.	Μερίδια κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη	121
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΟ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ.....		129
5.1.	Εισαγωγικά	129
5.2.	Εκτίμηση των πόρων σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη	131
5.3.	Γεωγραφική κατανομή των πόρων σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη	132
5.4.	Παράγοντες ώθησης της ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ	134
5.4.1.	Ενεργειακή ασφάλεια	135
5.4.2.	Μείωση των αποθεμάτων συμβατικού φυσικού αερίου	138
5.4.3.	Αύξηση των εισαγωγών φυσικού αερίου	138
5.4.4.	Αυξανόμενες τιμές φυσικού αερίου	139
5.5.	Προκλήσεις της ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ.....	139
5.5.1.	Περιβαλλοντικές ανησυχίες	139
5.5.2.	Πρόσβαση στην αγορά.....	140
5.5.3.	Υψηλό κόστος παραγωγής	141
5.5.4.	Πρόσβαση σε γη	142
5.5.5.	Γεωλογική αβεβαιότητα.....	142
5.6.	Επιπτώσεις της ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ	143
5.6.1.	Γεωλογικοί κίνδυνοι	143
5.6.2.	Τιμές φυσικού αερίου	143
5.6.3.	Εκπομπές CO ₂	143
5.6.4.	Οικονομικές επιπτώσεις.....	144
5.7.	Σύγκριση του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ.....	144
5.7.1.	Γεωλογία.....	144
5.7.2.	Τεχνολογία.....	145
5.7.3.	Κανονιστικό πλαίσιο.....	147
5.7.4.	Φορολογία.....	148
5.7.5.	Περιβάλλον.....	149
5.7.6.	Έργα υποδομής	150

5.8.	Δημόσια αποδοχή του σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ	152
5.9.	Οικονομικές πτυχές της ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου	152
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ		155
6.1.	Βασικές εξισώσεις του μοντέλου	155
6.2.	Διαμόρφωση σεναρίων	160
6.3.	Ανάλυση αποτελεσμάτων	161
6.3.1.	Παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στην ΕΕ-27	161
6.3.2.	Παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στη Νορβηγία	162
6.3.3.	Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία)....	163
6.3.4.	Ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία)	165
6.3.5.	Εξάρτηση της Ευρώπης (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία) από τις εισαγωγές φυσικού αερίου.....	166
6.3.6.	Μερίδια κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	169
6.3.7.	Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή χρήση.....	171
6.3.8.	Τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία).....	173
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		175
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ		185

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1: Ετήσια παραγωγή συμβατικού και μη συμβατικού αερίου στις ΗΠΑ το διάστημα 1990-2010.....	33
Διάγραμμα 3.1: Κατανομή παγκόσμιων πόρων σχιστολιθικού αερίου (σε tcm)	76
Διάγραμμα 3.2: Κατανομή παγκόσμιων πόρων έγκλειστου αερίου (σε tcm)	76
Διάγραμμα 3.3: Κατανομή παγκόσμιων πόρων μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων (σε tcm).....	77
Διάγραμμα 4.1: Παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο αναφοράς το διάστημα 2010-2050 (μέση τιμή και ποσοστημόρια).....	83
Διάγραμμα 4.2: Παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το διάστημα 2010-2050 (μέση τιμή και ποσοστημόρια)	85
Διάγραμμα 4.3: Μέση παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στα δύο σενάρια (σε Mtoe).....	86
Διάγραμμα 4.4: Κατανομή λόγου παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς παγκόσμια τιμή άνθρακα στα δύο σενάρια το 2050.....	87
Διάγραμμα 4.5: Κατανομή λόγου παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς παγκόσμια τιμή πετρελαίου στα δύο σενάρια το 2050.....	89
Διάγραμμα 4.6: Κατανομή του λόγου παγκόσμιων αποθεμάτων προς παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου στα δύο σενάρια το 2050.....	91
Διάγραμμα 4.7: Μέση παγκόσμια πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στα δύο σενάρια (σε Mtoe)	94
Διάγραμμα 4.8: Παγκόσμια πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στα δύο σενάρια (σε Mtoe).....	96
Διάγραμμα 4.9: Πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου να ξεπεράσει την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στα δύο σενάρια το διάστημα 2010-2050 (%)	96
Διάγραμμα 4.10: Πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου να ξεπεράσει την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στα δύο σενάρια το διάστημα 2010-2050 (%)	98
Διάγραμμα 4.11: Μέση παγκόσμια πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στα δύο σενάρια (σε Mtoe)	99
Διάγραμμα 4.12: Μέσα μερίδια κύριων καυσίμων στην ηλεκτροπαραγωγή στα δύο σενάρια (%).....	105
Διάγραμμα 4.13: Πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να ξεπεράσει το 30% στα δύο σενάρια (%)	106
Διάγραμμα 4.14: Πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να ξεπεράσει το μερίδιο του άνθρακα στα δύο σενάρια (%)	106
Διάγραμμα 4.15: Πιθανότητα το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να είναι μικρότερο από 30% στα δύο σενάρια (%).....	107
Διάγραμμα 4.16: Πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να ξεπεράσει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δύο σενάρια (%)	108
Διάγραμμα 4.17: Πιθανότητα το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να ξεπεράσει το 30% στα δύο σενάρια (%)	108
Διάγραμμα 4.18: Παγκόσμιες εκπομπές CO ₂ (μέση τιμή και ποσοστημόρια) στο σενάριο αναφοράς το διάστημα 2010-2050 (σε Gtn CO ₂).....	110

Διάγραμμα 4.19: Παγκόσμιες εκπομπές CO ₂ (μέση τιμή και ποσοστημόρια) στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το διάστημα 2010-2050 (σε Gtn CO ₂).....	111
Διάγραμμα 4.20: Μέσες εκπομπές CO ₂ στα δύο σενάρια το διάστημα 2020-2050 (σε Gtn CO ₂).....	112
Διάγραμμα 4.21: Πιθανότητα οι εκπομπές CO ₂ να είναι μικρότερες στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς(%).....	113
Διάγραμμα 4.22: Μέση πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (σε Mtoe).....	116
Διάγραμμα 4.23: Μέση πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (σε Mtoe).....	118
Διάγραμμα 4.24: Μέση πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (σε Mtoe).....	121
Διάγραμμα 4.25: Μέσα μερίδια κύριων καυσίμων στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (%).....	126
Διάγραμμα 4.26: Πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη να ξεπεράσει το 30% στα δύο σενάρια (%).....	127
Διάγραμμα 4.27: Πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη να ξεπεράσει το μερίδιο του άνθρακα στα δύο σενάρια (%).....	128
Διάγραμμα 4.28: Πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη να ξεπεράσει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δύο σενάρια (%).....	128
Διάγραμμα 6.1: Παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στη Νορβηγία στα δύο σενάρια το διάστημα 2010-2050 (σε bcm).....	163
Διάγραμμα 6.2: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (σε bcm).....	164
Διάγραμμα 6.3: Πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια το διάστημα 2010-2050 (σε bcm).....	166
Διάγραμμα 6.4: Συνοπτικά αποτελέσματα του μοντέλου για την επίδραση του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη.....	168
Διάγραμμα 6.5: Μερίδια κύριων καυσίμων στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη.....	171
Διάγραμμα 6.6: Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη για οικιακή χρήση (σε \$/KWh).	173
Διάγραμμα 6.7: Τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (σε \$/Mbtu).....	174

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1.1: Διαφορές μεταξύ κοιτασμάτων συμβατικού και μη συμβατικού αερίου.....	28
Πίνακας 1.2: Μελλοντικοί τομείς βελτίωσης της τεχνολογίας και επιδράσεις της στην εξόρυξη μη συμβατικού αερίου.....	40
Πίνακας 1.3: Εκτίμηση των πόρων σχιστολιθικού αερίου, έγκλειστου αερίου και CBM [7].	45
Πίνακας 3.1: Πόροι σχιστολιθικού, έγκλειστου και συμβατικού αερίου [27]	72
Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα παλινδρόμησης για τους πόρους σχιστολιθικού αερίου.....	73
Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα παλινδρόμησης για τους πόρους έγκλειστου αερίου.....	74
Πίνακας 4.1: Συνοπτικά στατιστικά για την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο αναφοράς (σε \$ 05/boe).....	84
Πίνακας 4.2: Συνοπτικά στατιστικά για την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε \$ 05/boe).....	85
Πίνακας 4.3: Συνοπτικά στατιστικά για τον λόγο R/P του φυσικού αερίου στο σενάριο αναφοράς (σε χρόνια).....	90
Πίνακας 4.4: Συνοπτικά στατιστικά για τον λόγο R/P του φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε χρόνια).....	90
Πίνακας 4.5: Συνοπτικά στατιστικά για την παγκόσμια πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στο σενάριο αναφοράς (σε Mtoe).....	92
Πίνακας 4.6: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε Mtoe)	93
Πίνακας 4.7: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στο σενάριο αναφοράς (σε Mtoe).....	95
Πίνακας 4.8: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε Mtoe)	95
Πίνακας 4.9: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στο σενάριο αναφοράς (σε Mtoe).....	97
Πίνακας 4.10: Συνοπτικά στατιστικά για την παγκόσμια πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε Mtoe).....	97
Πίνακας 4.11: Μερίδια των κύριων καυσίμων στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2008 (%).....	99
Πίνακας 4.12: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σενάριο αναφοράς το 2030 (%).....	100
Πίνακας 4.13: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σενάριο αναφοράς το 2050 (%).....	101
Πίνακας 4.14: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το 2030 (%).....	103
Πίνακας 4.15: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το 2050 (%).....	104
Πίνακας 4.16: Συνοπτικά στατιστικά για τις παγκόσμιες εκπομπές CO ₂ στα δύο σενάρια το 2030 και το 2050 (σε Gtn CO ₂).....	111

Πίνακας 4.17: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στο σενάριο αναφοράς (σε Mtoe)	114
Πίνακας 4.18: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε Mtoe)	115
Πίνακας 4.19: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη στο σενάριο αναφοράς (σε Mtoe)	117
Πίνακας 4.20: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε Mtoe).....	117
Πίνακας 4.21: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη στο σενάριο αναφοράς (σε Mtoe).....	119
Πίνακας 4.22: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε Mtoe).....	120
Πίνακας 4.23: Μεριδία των κύριων καυσίμων στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη το 2008 (%)	121
Πίνακας 4.24: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρισμού στο σενάριο αναφοράς το 2030 (%).	123
Πίνακας 4.25: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρισμού στο σενάριο αναφοράς το 2050 (%).	123
Πίνακας 4.26: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρισμού στο σενάριο εκμετάλλευσης μη συμβατικού αερίου το 2030 (%).	124
Πίνακας 4.27: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρισμού στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το 2050 (%).	125
Πίνακας 5.1: Οι κυριότερες λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη [25]	133
Πίνακας 5.2: Κατανάλωση, παραγωγή και εισαγωγές φυσικού αερίου στην ΕΕ-27 το 2011 [37]	136
Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα παλινδρόμησης για την τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη...	156
Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα παλινδρόμησης για την παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στην ΕΕ-27 και την Ελβετία.....	157
Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα παλινδρόμησης για την παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στη Νορβηγία	158
Πίνακας 6.4: Υποθέσεις σεναρίων	161
Πίνακας 6.5: Παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στην ΕΕ-27 και μερίδιο στην κάλυψη της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου στα δύο σενάρια.....	162
Πίνακας 6.6: Παραγωγή φυσικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια.....	165
Πίνακας 6.7: Εισαγωγές αερίου και βαθμός εξάρτησης της Ευρώπης στα δύο σενάρια	167
Πίνακας 6.8: Τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (σε \$/Mbtu)	174

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1.1: Διαφορές μεταξύ συμβατικών και μη συμβατικών πηγών αερίου [2]	27
Εικόνα 1.2: Διάκριση των συμβατικών και μη συμβατικών ταμιευτήρων με βάση τη διαπερατότητα τους [1]	27
Εικόνα 1.3: Ετήσια παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ από το 1980 μέχρι το 2012(σε bcm/χρόνο).....	34
Εικόνα 1.4: Κάθετα και οριζόντια φρέατα σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ το διάστημα 2004-2012.....	36
Εικόνα 1.5: Χρήση της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης και της οριζόντιας γεώτρησης σε κοίτασμα σχιστολιθικού αερίου	37
Εικόνα 1.6: Τυπικό προφίλ παραγωγής μη συμβατικών πηγών αερίου.....	38
Εικόνα 1.7: Σύντομη περιγραφή των ορισμών των πόρων μη συμβατικού αερίου.....	43
Εικόνα 1.8: Διάκριση μεταξύ των πόρων και των αποθεμάτων	43
Εικόνα 1.9: Εύρος κατανάλωσης νερού για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας από φυσικό αέριο και πετρέλαιο [21]	49
Εικόνα 1.10: Σύγκριση κατανάλωσης νερού σε 4 σχιστολιθικά κοιτάσματα στις ΗΠΑ [20].	50
Εικόνα 1.11: Σύθεση του υγρού ρωγμάτωσης και χρήσεις των χημικών συστατικών του [20]	51
Εικόνα 1.12: Σύγκριση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (CH ₄ , CO ₂) από το σχιστολιθικό αέριο, το συμβατικό αέριο, τον άνθρακα και το πετρέλαιο με ορίζοντα πρόβλεψης τα 20 χρόνια.....	54
Εικόνα 1.13: Σύγκριση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (CH ₄ , CO ₂) από το σχιστολιθικό αέριο, το συμβατικό αέριο, τον άνθρακα και το πετρέλαιο με ορίζοντα πρόβλεψης τα 100 χρόνια.....	54
Εικόνα 1.14: Δυνητικές ροές εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων, επιβλαβών ουσιών και φυσικών ραδιενεργών ουσιών.	55
Εικόνα 1.15: Εκτιμήσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την προ-παραγωγή, παραγωγή, επεξεργασία και μεταφορά του σχιστολιθικού αερίου.....	56
Εικόνα 2.1: Συνοπτικό διάγραμμα ροής του στοχαστικού μοντέλου ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ [26]....	69
Εικόνα 5.1: Εκτιμήσεις των τεχνικά απολήψιμων πόρων σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη [36]	132
Εικόνα 5.2: Χάρτης λεκάνων σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη [21].....	133
Εικόνα 5.3: Εισαγωγές φυσικού αερίου στην ΕΕ και ο βαθμός εξάρτησή της από συγκεκριμένες χώρες [37].	137
Εικόνα 5.4: Εκτίμηση συνολικού κόστους ανάπτυξης φρεάτος σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη [38]	141
Εικόνα 5.5: Παράγοντες κινδύνου του μη συμβατικού αερίου [42].....	151
Εικόνα 5.6: Εύρος κόστους φρεάτος στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ [8]	153

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.0 στόχος της μελέτης

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου σε βασικές μεταβλητές του ενεργειακού συστήματος και του περιβάλλοντος σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι μεταβλητές αυτές περιλαμβάνουν την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου, τον λόγο των παγκόσμιων αποθεμάτων προς την παγκόσμια παραγωγή (R/P ratio) του φυσικού αερίου, την πρωτογενή ζήτηση των ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακας, πετρέλαιο), τα μερίδια των τεχνολογιών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, κατασκευάσαμε ένα μοντέλο με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος E-VIEWS 6 για την στοχαστική μοντελοποίηση των πόρων μη συμβατικού αερίου. Οι τρεις κύριοι τύποι μη συμβατικού αερίου είναι το σχιστολιθικό αέριο (shale gas), το έγκλειστο αέριο (tight gas) και το μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων (coalbed methane). Στη συνέχεια μοντελοποιήσαμε στοχαστικά τους συντελεστές απόληψης (recovery factors) για τα τρία αυτά είδη μη συμβατικού αερίου. Έτσι, καταφέραμε να δημιουργήσουμε την στοχαστική κατανομή των αποθεμάτων (reserves) των τριών τύπων μη συμβατικού αερίου. Τέλος, ενσωματώσαμε τις στοχαστικές οικονομετρικές εξισώσεις που προέκυψαν στο στοχαστικό ενεργειακό μοντέλο PROMHΘΕΑΣ που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο E3MLab του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Προκειμένου να εξετάσουμε την επίδραση της διεύρυνσης της παγκόσμιας προμήθειας φυσικού αερίου με την προσθήκη των αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου στο παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα δημιουργήσαμε δύο σενάρια.

Στο σενάριο αναφοράς θεωρήσαμε ότι δεν υπάρχει εκμετάλλευση των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου καθώς δεν ξεπερνιούνται περιβαλλοντικά, οικονομικά, τεχνικά και κοινωνικά εμπόδια. Επιπλέον, στο σενάριο αυτό είναι περιορισμένες οι γεωλογικές γνώσεις για τα κοιτάσματα μη συμβατικού αερίου ενώ σε πολλές χώρες υπάρχει απαγόρευση της τεχνολογίας που είναι απαραίτητη για την εξόρυξη του.

Αντίθετα, στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για την εκμετάλλευση των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου. Στο σενάριο αυτό θεωρήσαμε ότι υπάρχει πρόσβαση σε γεωλογικά δεδομένα σχετικά με μη συμβατικούς σχηματισμούς ενώ το κανονιστικό και ρυθμιστικό πλαίσιο ευνοεί τις επενδύσεις για εξερεύνηση κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου. Η τεχνολογία εξόρυξης μη συμβατικού αερίου σημειώνει πρόοδο με την πάροδο του χρόνου με την βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού και κατάλληλων μεθόδων.

Επιπλέον, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μελετήσαμε την επίδραση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ενεργειακή αγορά φυσικού αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης και πιο συγκεκριμένα στην εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το εισαγόμενο φυσικό αέριο. Η μελέτη αυτή έγινε στα πλαίσια της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης που έχει θέσει ως στόχο την ενίσχυση της ενεργειακής της ασφάλειας με σταδιακή απεξάρτηση από το εισαγόμενο φυσικό αέριο και τη δημιουργία νέων πηγών προμήθειας φυσικού αερίου.

Κατασκευάσαμε ένα ντετερμινιστικό μοντέλο με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος E-VIEWS 6 που περιλαμβάνει οικονομετρικές εξισώσεις για την εκτίμηση της τιμής του φυσικού αερίου στην Ευρώπη (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία) και της παραγωγής συμβατικού και σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη.

Ενσωματώσαμε αυτές τις πρόσθετες οικονομετρικές εξισώσεις στο ενεργειακό μοντέλο ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ προκειμένου να υπολογίσουμε την συνολική παραγωγή αερίου, τις εισαγωγές αερίου και τον βαθμό εξάρτησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης από εισαγωγές φυσικού αερίου. Δημιουργήσαμε δύο σενάρια για να ποσοτικοποιήσουμε την επίδραση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης από εισαγωγές φυσικού αερίου.

Στο σενάριο αναφοράς θεωρήσαμε ότι μόνο η Πολωνία παράγει σχιστολιθικό αέριο σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση ενώ η υστέρηση της Ευρωπαϊκής βιομηχανίας όσον αφορά την γεωλογική γνώση και την τεχνογνωσία ανάπτυξης των σχιστολιθικών σχηματισμών υλοποιήθηκε με την επιλογή ενός χαμηλού συντελεστή απόληψης των πόρων που διαθέτει η Πολωνία.

Στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση θεωρήσαμε ότι το πλαίσιο στην ΕΕ για την εκμετάλλευση των σχιστολιθικών κοιτασμάτων είναι ιδιαίτερα ευνοϊκό με κύριο στόχο της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ την απεξάρτηση από τις εισαγωγές φυσικού αερίου και την εκμετάλλευση των ενδογενών πηγών ενέργειας. Στο σενάριο αυτό υποθέσαμε ότι τα κράτη μέλη της ΕΕ διαθέτουν μεγάλη ποσότητα πόρων σχιστολιθικού αερίου, η δημόσια αποδοχή είναι ιδιαίτερα αυξημένη και ενθαρρύνει τη νέα αυτή πηγή ενέργειας ενώ το οικονομικό, ρυθμιστικό και φορολογικό πλαίσιο ευνοούν την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου. Η μεταφορά της τεχνογνωσίας από τις ΗΠΑ στην ΕΕ και η πραγματοποίηση επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς και διανομής αερίου υλοποιήθηκε με την επιλογή υψηλού συντελεστή απόληψης των πόρων σχιστολιθικού αερίου.

1.2. Οργάνωση του κειμένου

Στο **κεφάλαιο 1** ορίζονται οι μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου και περιγράφονται τα τρία κύρια είδη τους. Δίνεται συνοπτικά το ιστορικό της ανάπτυξης των μη συμβατικών πηγών αερίου στις ΗΠΑ και στη συνέχεια περιγράφονται οι απαραίτητες τεχνολογίες που έδωσαν ώθηση για την ανάπτυξη των μη συμβατικών πόρων σε όλο τον κόσμο. Επίσης, αφού αναλύονται οι όροι που χρησιμοποιούνται στην μελέτη σχετικά με τα αποθέματα και τους πόρους των μη συμβατικών πηγών αερίου, δίνεται εκτίμηση της ποσότητας των παγκόσμιων μη συμβατικών πόρων αερίου. Στη συνέχεια αναφέρονται τα περιβαλλοντικά ζητήματα που σχετίζονται με την εκμετάλλευση αυτών των νέων πηγών ενέργειας. Τέλος, αναλύονται τα κόστη παραγωγής μη συμβατικού αερίου και περιγράφονται μερικά από τα εμπόδια που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ανάπτυξη των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στο **κεφάλαιο 2** γίνεται παρουσίαση του στοχαστικού ενεργειακού μοντέλου ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη της επίδρασης των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου στο ενεργειακό σύστημα. Περιγράφονται τα χαρακτηριστικά του μοντέλου με τις μεταβλητές που περιλαμβάνει και η έξοδος του.

Στο **κεφάλαιο 3** περιγράφεται το μοντέλο που κατασκευάστηκε για τη δημιουργία της στοχαστικής κατανομής των πόρων των τριών κύριων ειδών μη συμβατικών πηγών αερίου και για τη δημιουργία της στοχαστικής κατανομής του συντελεστή απόληψης. Περιγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν ενώ στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία ενσωμάτωσης των παραπάνω κατανομών στο μοντέλο ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ. Τέλος αναλύονται τα σενάρια που διαμορφώθηκαν προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση των μη συμβατικών πηγών αερίου στο παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα.

Στο **κεφάλαιο 4** γίνεται εκτενής παρουσίαση των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Περιγράφεται η επίδραση της εκμετάλλευσης των παγκόσμιων μη συμβατικών πόρων αερίου σε βασικές μεταβλητές του ενεργειακού και περιβαλλοντικού συστήματος. Αυτές περιλαμβάνουν την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου, τον λόγο της παγκόσμιας τιμή φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή άνθρακα και πετρελαίου, τον λόγο των παγκόσμιων αποθεμάτων προς την παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου, την πρωτογενή ζήτηση ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακας, πετρέλαιο), τα μερίδια των τεχνολογιών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις παγκόσμιες εκπομπές CO₂. Τέλος, αναλύεται η επίδραση της παγκόσμιας εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων αερίου στην πρωτογενή ζήτηση ορυκτών καυσίμων και στα μερίδια των τεχνολογιών στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη.

Στο **κεφάλαιο 5** περιγράφεται το πλαίσιο που επικρατεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση σχετικά με την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου. Αρχικά γίνεται μια εκτίμηση των πόρων σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη και δίνεται η γεωγραφική τους κατανομή. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι παράγοντες ώθησης, οι προκλήσεις και οι πιθανές επιπτώσεις της ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Επίσης, γίνεται σύγκριση του πλαισίου που επικρατεί στην Ευρώπη σχετικά με την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου σε σχέση με τις ΗΠΑ. Τέλος, γίνεται αναφορά στην δημόσια αντιμετώπιση της νέας αυτής πηγής ενέργειας στην Ευρώπη και παρουσιάζονται οικονομικές πτυχές της.

Στο **κεφάλαιο 6** περιγράφονται οι βασικές εξισώσεις του μοντέλου προσομοίωσης της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση και αναλύονται τα σενάρια που διαμορφώθηκαν προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ενεργειακή αγορά φυσικού αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στη συνέχεια γίνεται εκτενής παρουσίαση των αποτελεσμάτων του μοντέλου για τα δύο σενάρια. Περιγράφεται η επίδραση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην παραγωγή συμβατικού αερίου στην Ευρώπη, στην παραγωγή συμβατικού αερίου στη Νορβηγία, στην ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη, στην εξάρτηση της Ευρώπης από εισαγωγές φυσικού αερίου από άλλες χώρες, στα μερίδια των κύριων τεχνολογιών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και στην τιμή του φυσικού αερίου στην Ευρώπη.

Στο **κεφάλαιο 7** γίνεται σύνοψη των κύριων αποτελεσμάτων της μελέτης και διατυπώνονται τα τελικά συμπεράσματα.

1.3.Μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου

1.3.1. Εισαγωγικά

Σε μια εποχή που η παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου μειώνεται ενώ ταυτόχρονα η ζήτηση του αυξάνεται σε όλους τους ενεργειακούς τομείς, η οικονομική παραγωγή αερίου από μη συμβατικές πηγές αποτελεί μια αναπόφευκτη λύση. Έτσι, το μη συμβατικό αέριο έχει γίνει ένα θέμα που αποκτά όλο και μεγαλύτερη σημασία για την διεθνή ενεργειακή και κλιματική πολιτική. Οι μακροπρόθεσμες τάσεις στη βιομηχανία φυσικού αερίου και οι ενεργειακές πολιτικές που θα διαμορφώσουν τις μελλοντικές αγορές φυσικού αερίου έχουν θέσει το μη συμβατικό αέριο στον ενεργειακό χάρτη. Το φυσικό αέριο έχει γίνει μια ελκυστική πηγή ενέργειας σε πολλές χώρες εκτός ΟΟΣΑ (αναπτυσσόμενες), ενώ είναι ήδη μια σημαντική πηγή ενέργειας στις χώρες του ΟΟΣΑ (αναπτυγμένες). Στις χώρες του ΟΟΣΑ, η προβλεπόμενη αύξηση της ζήτησης φυσικού αερίου, αν και σε μέτριο βαθμό, σε συνδυασμό με την μείωση της εγχώριας παραγωγής του, αυξάνει τις ανησυχίες για την ενεργειακή εξάρτηση και ασφάλεια. Σε μερικές από τις ταχέως αναπτυσσόμενες οικονομίες (κυρίως στην Κίνα και στην Ινδία), η πολύ μεγάλη αύξηση της ζήτησης φυσικού αερίου σε συνδυασμό με την περιορισμένη διαθεσιμότητα της εγχώριας παραγωγής υποχρεώνει τις χώρες αυτές να αναζητήσουν νέες εναλλακτικές λύσεις εφοδιασμού με φυσικό αέριο. Έτσι, ενώ το διεθνές δίκτυο αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου προβλέπεται να διατηρήσει ένα σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια προμήθεια φυσικού αερίου, το υγροποιημένο και το μη συμβατικό αέριο θα καταστούν σημαντικές πηγές για την μακροπρόθεσμη προμήθεια αερίου. Επιπλέον οι πόροι μη συμβατικού αερίου βρίσκονται σε πολλά μέρη του κόσμου σε αφθονία, συμπεριλαμβανομένων περιοχών που οι πόροι συμβατικού αερίου εξαντλούνται. Αυτές οι περιοχές είναι πιθανό να προσπαθήσουν να αναπτύξουν τις μη συμβατικές πηγές του φυσικού αερίου. Ο ρυθμός με τον οποίο το μη συμβατικό αέριο θα αναπτυχθεί θα έχει αντίκτυπο στο ισοζύγιο προσφοράς - ζήτησης, καθώς το συμβατικό υγροποιημένο αέριο (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 φυσικού αερίου αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά τις παγκόσμιες αγορές φυσικού αερίου στο μέλλον. Στην Βόρεια Αμερική αυτή η διαδικασία βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη, ενώ και άλλες χώρες αναπτύσσουν σταδιακά ρυθμιστικά και φορολογικά πλαίσια που επιτρέπουν την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων μη συμβατικού αερίου (π.χ. Κίνα, Αυστραλία, Πολωνία κλπ).

1.3.2. Τι είναι οι μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου;

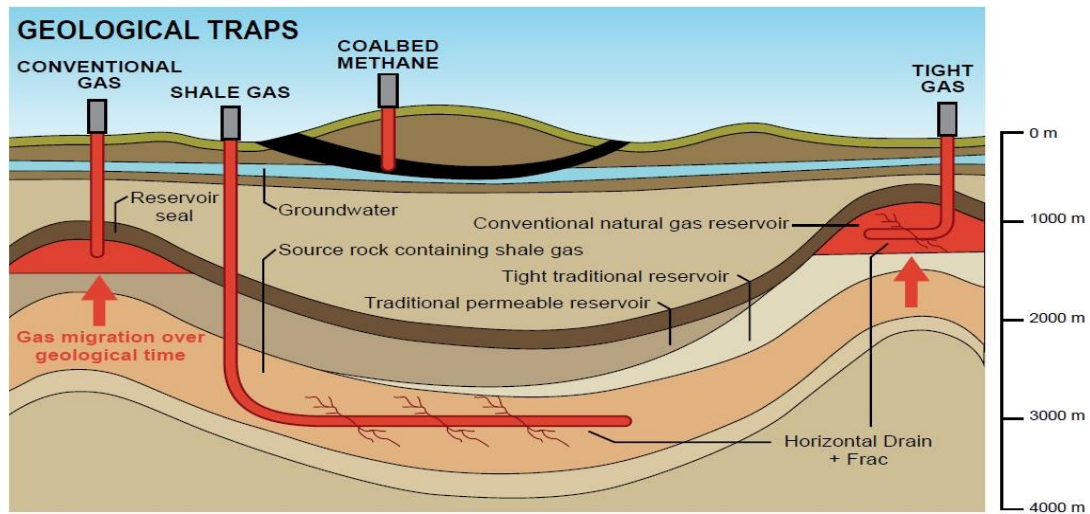
Το φυσικό αέριο είναι ένα μίγμα αέριων υδρογονανθράκων με κυμαινόμενες ποσότητες άλλων αερίων, που θεωρούνται ως ακαθαρσίες. Το φυσικό αέριο βρίσκεται συνήθως συνδυασμένο με υγρούς υδρογονάνθρακες (π.χ. συμπυκνώματα ελαφρών υδρογονανθράκων και αργό πετρέλαιο).

Το φυσικό αέριο δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια διαφόρων εποχών της γεωλογικής ιστορίας του πλανήτη και μετακινήθηκε από τους χώρους δημιουργίας σε υπόγειους ταμιευτήρες σε πορώδη πετρώματα ή ρηγματώσεις σε ποικίλους γεωλογικούς σχηματισμούς. Το φυσικό αέριο ανακτάται μέσω φρεάτων που ορύσσονται σε αυτούς τους ταμιευτήρες. Οι ταμιευτήρες φυσικού αερίου ταξινομούνται σε συμβατικούς και μη συμβατικούς.

Οι ταμιευτήρες συμβατικού αερίου χαρακτηρίζονται από υψηλή διαπερατότητα με το αέριο να είναι αποθηκευμένο υπό τη μορφή ανθρακικών σχηματισμών σε μικρούς χώρους πόρων που είναι μεταξύ τους συνδεδεμένοι. Οι πόροι του φυσικού αερίου θεωρούνται γενικά συμβατικοί αν δεν απαιτείται ιδιαίτερη διαδικασία διέγερσης προκειμένου να παραχθεί φυσικό αέριο με οικονομικούς ρυθμούς ροής. Η εκμετάλλευση των πόρων συμβατικού αερίου γίνεται συνήθως με τη χρήση μόνο κάθετων φρεάτων και ο συντελεστής απόληξης είναι πάνω από 80% του αερίου στο κοίτασμα (OGIP).

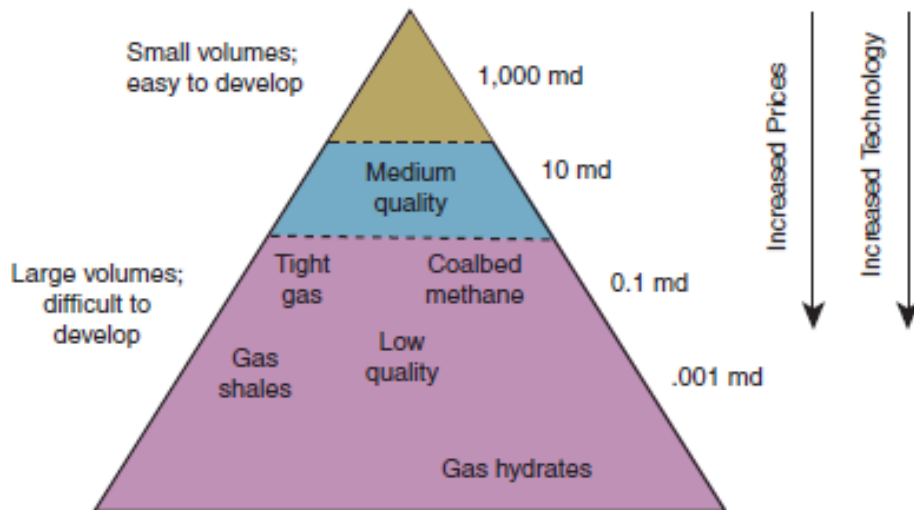
Οι ταμιευτήρες μη συμβατικού αερίου ορίζονται ως οι ταμιευτήρες φυσικού αερίου από τους οποίους δεν μπορεί να παραχθεί το αέριο με οικονομικούς ρυθμούς ροής ή σε οικονομικές ποσότητες εκτός αν το φρέαρ διεγερθεί με την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης (Holditch, 2006) [1]. Οι συντελεστές απόληξης (recovery factors) των πόρων μη συμβατικού αερίου είναι πολύ μικρότεροι από αυτούς του συμβατικού αερίου και συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 15-30% του αερίου στο κοίτασμα. Τα τρία πιο κοινά είδη μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου είναι το σχιστολιθικό αέριο (shale gas), το έγκλειστο αέριο (tight gas) και το μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων (coalbed methane). Οι ταμιευτήρες μη συμβατικού αερίου χαρακτηρίζονται από χαμηλό πορώδες και μικρή διαπερατότητα (σε σχέση με τους ταμιευτήρες συμβατικού αερίου). Κοινά χαρακτηριστικά όλων των μη συμβατικών κοιτασμάτων είναι ότι η περιεκτικότητα σε αέριο κατ' όγκο πετρώματος είναι μικρή σε σύγκριση με εκείνη των συμβατικών κοιτασμάτων, ότι είναι διασκορπισμένα σε έκταση δεκάδων χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων και ότι η διαπερατότητα τους είναι πολύ χαμηλή. Επομένως, απαιτούνται ειδικές μέθοδοι για την εξόρυξη του αερίου. Επιπλέον, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας υδρογονανθράκων των μητρικών πετρωμάτων, η εξόρυξη ανά φρέαρ είναι πολύ μικρότερη από εκείνη των συμβατικών κοιτασμάτων, γεγονός που καθιστά την οικονομική παραγωγή τους πιο δύσκολη. Οι μέθοδοι εξόρυξης του μη συμβατικού αερίου απαιτούν εξειδικευμένες τεχνολογίες, μεγάλες ποσότητες νερού και την έγχυση πρόσθετων, τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβή για το περιβάλλον.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ των ταμιευτήρων συμβατικού και μη συμβατικού αερίου (περιλαμβάνονται το σχιστολιθικό αέριο, το έγκλειστο αέριο και το μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων) καθώς και οι διαφορές στις τεχνικές εξόρυξης τους.



Εικόνα 1.1: Διαφορές μεταξύ συμβατικών και μη συμβατικών πηγών αερίου [2]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η διάκριση μεταξύ των ταμιευτήρων συμβατικού και μη συμβατικού φυσικού αερίου με βάση την διαπερατότητα τους μετρημένη στην κλίμακα microdarcy.



Εικόνα 1.2: Διάκριση των συμβατικών και μη συμβατικών ταμιευτήρων με βάση τη διαπερατότητα τους [1]

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα όσο η διαπερατότητα των ταμιευτήρων φυσικού αερίου μειώνεται, η ποσότητα των πόρων που βρίσκεται σε αυτούς αυξάνεται αλλά αυξάνεται επίσης και το κόστος παραγωγής και οι απαιτούμενες επενδύσεις για την ανάπτυξη τους καθώς απαιτούνται ιδιαίτερες τεχνικές για την εξόρυξη τους.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι διαφορές μεταξύ των κοιτασμάτων συμβατικού και μη συμβατικού αερίου.

Κοιτάσματα συμβατικού αερίου	Κοιτάσματα μη συμβατικού αερίου
Συσσωρεύσεις σε ταμιευτήρες με μέτριο έως υψηλό πορώδες και με επαρκή διαπερατότητα ώστε να επιτρέπουν τη ροή του αερίου στο πηγάδι	Κοιτάσματα φυσικού αερίου που βρέθηκαν σε σχετικά αδιαπέραστους πετρώδεις σχηματισμούς (CBM, σχιστολιθικό αέριο, έγκλειστο άεριο)
Οριζόντια ή κάθετα φρέατα	Απαραίτητες τεχνολογίες η υδραυλική ρωγμάτωση και η οριζόντια γεώτρηση
Παραγωγή από το μητρικό πέτρωμα, φυσική ροή	Παραγωγή από μικρές ρωγμές και εξαιρετικά μικρούς χώρους πόρων
Η διαπερατότητα και το πορώδες καθορίζουν τους ρυθμούς παραγωγής και την εκτιμώμενη τελική απόληψη	Ο συνολικός οργανικός άνθρακας, η θερμική ωριμότητα και η ορυκτολογία καθορίζουν τον ταμιευτήρα και την τελική ολοκλήρωση
Σχέδια ανάπτυξης με βάση την περιοχή του κοιτάσματος	Σχέδια ανάπτυξης εξαρτώμενα από το φρέαρ (π.χ. βάθος)

Πίνακας 1.1: Διαφορές μεταξύ κοιτασμάτων συμβατικού και μη συμβατικού αερίου

1.3.3. Είδη μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου

- **Σχιστολιθικό αέριο (Shale Gas)**

Το σχιστολιθικό αέριο είναι το φυσικό αέριο που παράγεται από ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία αποτελούνται από πολύ μικρά στρώματα. Χάρη σε αυτή την πολυστρωματική δομή, οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί έχουν εξαιρετικά χαμηλή διαπερατότητα. Οι συσσωρεύσεις υδρογονανθράκων που σχηματίζουν τα κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου είναι αποθηκευμένοι σε μεγάλους όγκους σε πετρώματα τα οποία δεν είναι καταρχήν πετρώματα-ταμιευτήρες σε καμία περίπτωση, αλλά σχιστόλιθοι και άλλα πολύ λεπτόκοκκα πετρώματα στα οποία ο αναγκαίος όγκος για αποθήκευση παρέχεται από μικρές ρωγμές και εξαιρετικά μικρούς χώρους πόρων. Τα πετρώματα αυτά διαθέτουν εξαιρετικά χαμηλή διαπερατότητα και πορώδες.

Για πολλά χρόνια, η παραγωγή των υδρογονανθράκων εντός των σχιστόλιθων δεν ήταν οικονομική. Ωστόσο, τις τελευταίες δεκαετίες, ο συνδυασμός των τεχνικών της οριζόντιας γεώτρησης και της υδραυλικής ρωγμάτωσης οδήγησαν μεγάλες ποσότητες αποθεμάτων του μη συμβατικού σχιστολιθικού αερίου να μπορούν να παραχθούν με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Ωστόσο τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των σχιστόλιθων διαφέρουν μεταξύ τους και επομένως πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάπτυξη των ταμιευτήρων σχιστολιθικού αερίου.

- **Έγκλειστο αέριο (Tight Gas)**

Το έγκλειστο αέριο είναι το αέριο που παράγεται από ταμιευτήρες που έχουν πολύ χαμηλό πορώδες και διαπερατότητα. Αυτοί οι ταμιευτήρες είναι συνήθως ταμιευτήρες ψαμμίτη, αν και ανθρακικά πετρώματα μπορεί να περιέχουν έγκλειστο αέριο. Τα χαρακτηριστικά αυτά δεν επιτρέπουν τη διαφυγή του αερίου από τα πετρώδη στρώματα. Δεν υπάρχει ακριβής ορισμός για τον ταμιευτήρα έγκλειστου αερίου. Ένας τέτοιος ταμιευτήρας μπορεί να είναι βαθής ή ρηχός, υψηλής πίεσεως ή χαμηλής, υψηλής θερμοκρασίας ή χαμηλής, ομογενώς ή φυσικώς διάτρητος και μπορεί να περιέχει ένα μόνο στρώμα ή πολλαπλά στρώματα. Ένας τυπικός ορισμός για έναν ταμιευτήρα έγκλειστου αερίου είναι ως ο ταμιευτήρας-πέτρωμα με πορώδες 10% ή λιγότερο και διαπερατότητα 0,1 millidarcy ή μικρότερη [1].

Σε γενικές γραμμές, το κατακόρυφο φρέαρ που έχει υποστεί γεώτρηση σε έναν ταμιευτήρα έγκλειστου αερίου, χρειάζεται να διεγερθεί κατάλληλα ώστε να παράγει με οικονομικό τρόπο ροή φυσικού αερίου. Κανονικά, η τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης είναι απαραίτητη για την οικονομική παραγωγή έγκλειστου αερίου. Σε μερικούς ταμιευτήρες έγκλειστου αερίου, οριζόντια φρέατα μπορεί να υποστούν γεώτρηση, αλλά και αυτά πρέπει να διεγερθούν επιτυχώς. Για την βελτιστοποίηση της ανάπτυξης ενός ταμιευτήρα έγκλειστου αερίου, μια ομάδα από γεωεπιστήμονες και μηχανικούς πρέπει να βελτιστοποιήσουν τον αριθμό και την τοποθεσία των φρεάτων, όπως επίσης και τις διαδικασίες γεώτρησης και ολοκλήρωσης του κάθε φρέατος. Συχνά απαιτούνται περισσότερα δεδομένα και πιο εξειδικευμένο προσωπικό για την πλήρη κατανόηση και ανάπτυξη ενός ταμιευτήρα έγκλειστου αερίου συγκριτικά με ταμιευτήρες υψηλής διαπερατότητας που περιέχουν συμβατικό φυσικό αέριο. Ένα φρέαρ σε έναν ταμιευτήρα έγκλειστου αερίου παράγει γενικά λιγότερο αέριο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα απ'ότι περιμένει κανείς από έναν αντίστοιχο ταμιευτήρα συμβατικού αερίου. Επομένως, χρειάζονται περισσότερα φρέατα σε έναν ταμιευτήρα έγκλειστου αερίου για την ανάκτηση ενός μεγάλου ποσοστού του αερίου στο κοίτασμα που περιέχει σε σύγκριση με έναν συμβατικό ταμιευτήρα.

Οι βέλτιστες τεχνικές γεώτρησης, ολοκλήρωσης και διέγερσης για κάθε φρέαρ είναι συναρτήσεις των χαρακτηριστικών του ταμιευτήρα και του κόστους παραγωγής. Το κόστος της γεώτρησης, ολοκλήρωσης και διέγερσης του φρέατος καθώς και οι τιμές φυσικού αερίου επηρεάζουν τον τρόπο ανάπτυξης των ταμιευτήρων έγκλειστου αερίου.

- **Μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων (Coalbed Methane, CBM)**

Το μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων είναι το αέριο που εμφανίζεται με φυσικό τρόπο σε στρώματα άνθρακα και αποτελείται κυρίως από μεθάνιο. Περιέχει επίσης και άλλους υδρογονάνθρακες, αδρανή αέρια, θειούχες ενώσεις και άλλα υγρά. Στην Αυστραλία είναι γνωστό και ως αέριο φλέβας άνθρακα (coal seam gas). Το CBM δεν μεταναστεύει από τον σχιστόλιθο αλλά παράγεται κατά τη μετατροπή του οργανικού υλικού σε άνθρακα. Εξορύσσεται από αβαθή στρώματα άνθρακα και όχι από τους ταμιευτήρες ψαμμίτη που περιέχουν συμβατικό φυσικό αέριο. Η παραγωγή CBM συνοδεύεται συχνά από μεγάλες ποσότητες νερού. Όπως και το συμβατικό φυσικό αέριο, το CBM γενικά χρειάζεται να υποστεί επεξεργασία πριν από την μεταφορά του στους τελικούς καταναλωτές. Μετά την επεξεργασία του, μπορεί να αναμιχθεί με συμβατικό φυσικό αέριο και να χρησιμοποιηθεί για τους ίδιους σκοπούς.

Το CBM δημιουργείται όταν σχηματίζεται άνθρακας βαθιά στο υπέδαφος με την διαδικασία της θέρμανσης και συμπίεσης της φυτικής ύλης. Το αέριο παγιδεύεται στον άνθρακα μέσα σε μικρούς πόρους, συνήθως 300-600 μέτρα υπογείως. Το αέριο συγκρατείται στην θέση του από την πίεση του νερού και εξορύσσεται μέσω γεωτρήσεων στους πόρους του άνθρακα. Το νερό αντλείται από τους πόρους του άνθρακα, μειώνοντας την πίεση και έτσι το αέριο απελευθερώνεται από τον άνθρακα. Προκειμένου να αυξηθεί η ροή του νερού και του αερίου από τα φρέατα χρησιμοποιείται η διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Το αέριο εγκαταλείπει το φρέαρ υπό χαμηλή πίεση γύρω στο 1-4 bars. Στη συνέχεια το αέριο υφίσταται επεξεργασία ώστε να απομακρυνθεί το νερό και οι άλλες ακαθαρσίες, και μετά διοχετεύεται στα εργοστάσια συμπίεσης για την έγχυση του σε αγωγούς μεταφοράς αερίου.

Η γεώτρηση και η ολοκλήρωση των φρεάτων CBM διαρκεί συνήθως από τρεις μέρες μέχρι τρεις εβδομάδες. Ο χρόνος ποικίλλει ανάλογα με το βάθος του φρέατος, τη γεωλογία της περιοχής και το είδος της εξέδρας που θα χρησιμοποιηθεί. Τα φρέατα είναι επενδεδυμένα με περίβλημα από χάλυβα ώστε να απομονώνονται από τον υδροφόρο ορίζοντα. Όταν τεθεί σε λειτουργία, ένα φρέαρ CBM μπορεί να παράγει για 10 με 20 χρόνια.

Η εκμετάλλευση του CBM σε μικρές ποσότητες ξεκίνησε πριν πολλά χρόνια, αλλά μόνο πρόσφατα αναπτύχθηκε η ευρείας κλίμακας εμπορική του εκμετάλλευση και έχει γίνει σημαντική πηγή ενέργειας στις ΗΠΑ, τον Καναδά και την Αυστραλία - όπου χρησιμοποιείται για μελλοντικά σχέδια εξαγωγών υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG). Άλλες μεγάλες πηγές που βρίσκονται στη Ρωσία, τη Μέση Ανατολή, την Κίνα και την Ινδία, αρχίζουν τώρα να αξιοποιούνται.

Η οικονομική παραγωγή CBM εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα, το βάθος και το πάχος των πόρων του άνθρακα. Η περιεκτικότητα σε μεθάνιο είναι ένας βασικός παράγοντας και η εκμετάλλευση του CBM είναι πιο εύκολη σε μικρά βάθη. Το πάχος του στρώματος άνθρακα βοηθά στην αύξηση της παραγωγικότητας ανά φρέαρ. Πολλές χώρες διαθέτουν άφθονους πόρους CBM αλλά τα στρώματα άνθρακα

σε αυτές είναι κακής ποιότητας, πολύ λεπτά ή βρίσκονται πολύ βαθειά. Έτσι εμποδίζεται η χαμηλού κόστους εμπορική εκμετάλλευση των αποθεμάτων του.

Στις ΗΠΑ, η ανάπτυξη της βιομηχανίας του CBM, ήταν σταθερή για πολλά χρόνια, αλλά τα τελευταία χρόνια επιβραδύνεται εξαιτίας κυρίως της απογείωσης της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου. Μένει να δούμε αν η κατάσταση αυτή μεταφερθεί και σε άλλες περιοχές που υπάρχει έντονος ανταγωνισμός μεταξύ του CBM και του σχιστολιθικού αερίου (όπως η Αυστραλία, ο Καναδάς και η Κίνα) ή οι εξελίξεις στην εκμετάλλευση του CBM (τεχνικές και οικονομικές) θα αντιστρέψουν την τάση.

1.3.4. Η ιστορία της ανάπτυξης των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες

Λόγω της εξάντλησης των συμβατικών κοιτασμάτων φυσικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι εταιρίες αναγκάστηκαν ολοένα και περισσότερο να πραγματοποιούν γεωτρήσεις σε λιγότερο παραγωγικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Στην αρχή, οι εξέδρες φρεάτων επεκτείνονταν κοντά σε συμβατικούς σχηματισμούς, και παρήγαν αέριο από ελαφρώς λιγότερο διαπερατούς σχηματισμούς. Κατά τη σταδιακή αυτή μετατόπιση, ο αριθμός των φρεάτων αυξήθηκε, ενώ η παραγωγή ανά φρέαρ 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 αερίου, τα τεράστια αποθέματα μη συμβατικού φυσικού αερίου και οι μεγάλες γεωγραφικές περιοχές που επέτρεπαν την γεώτρηση εκατοντάδων χιλιάδων φρεάτων αποτέλεσαν το έναυσμα για την παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου.

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 του Barnett στην πολιτεία του Τέξας. Τότε ο σχηματισμός αυτός έφτασε να παράγει σχεδόν 14 bcm φυσικό αέριο τον χρόνο. Σε διάστημα 5 χρόνων διανοίχτηκαν εκεί περίπου 15.000 φρέατα. Έτσι, οι παραγωγοί απέκτησαν αυτοπεποίθηση εξαιτίας της δυνατότητας να παραχθεί επικερδώς φυσικό αέριο από το σχιστολιθικό σχηματισμό του Barnett. Επιπλέον, επιβεβαιώνοντας τη δυνατότητα αυτή από αποτελέσματα που είχαν από το σχιστολιθικό σχηματισμό του Fayetteville στο βόρειο Arkansas, άρχισαν να μελετούν και άλλους σχηματισμούς, όπως τους σχηματισμούς του Haynesville, Marcellus, του Woodford, του Eagle Ford κ.α.

Η ανάπτυξη των σχιστολιθικών κοιτασμάτων πυροδοτήθηκε από την τεχνολογική πρόοδο στις οριζόντιες γεωτρήσεις και στην υδραυλική ρωγμάτωση με τη χρήση πρόσθετων χημικών. Η χρήση της οριζόντιας γεώτρησης σε συνδυασμό με την υδραυλική ρωγμάτωση αύξησε την ικανότητα των παραγωγών φυσικού αερίου να παράγουν επικερδώς αέριο από χαμηλής διαπερατότητας σχηματισμούς. Η φάση αυτή ξεκίνησε στη δεκαετία του 1970. Στα μέσα της δεκαετίας του 1970, μια συνεργασία ιδιωτικών επιχειρήσεων, που περιελάμβανε 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 φυσικού αερίου από το σχετικά ρηχό σχιστολιθικό σχηματισμό του Devonian στις ανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες. Η συνεργασία αυτή σηματοδότησε την ανάπτυξη τεχνολογιών που αποδείχτηκαν με την πάροδο των χρόνων σημαντικές για την παραγωγή φυσικού αερίου από τα σχιστολιθικά πετρώματα. Ωστόσο, εφαρμογές της τεχνικής της ρωγμάτωσης για την διέγερση της παραγωγής φυσικού αερίου και πετρελαίου ξεκίνησαν να αναπτύσσονται το 1950, με τους πρώτους 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 φυσικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Ένα παράγοντας που βοήθησε στην ανάπτυξη των αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου ήταν οι γεωλογικές γνώσεις που αποκτήθηκαν με την πάροδο των χρόνων. Σε πολλές περιπτώσεις, τα κοιτάσματα μη συμβατικού αερίου συνυπάρχουν με κοιτάσματα συμβατικού φυσικού αερίου τα οποία έχουν διερευνηθεί εκτεταμένα. Κατά τα τελευταία 150 χρόνια, οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν αποκτήσει μεγάλη εμπειρία από γεωτρήσεις για πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Αυτό έδωσε στις ΗΠΑ ένα προβάδισμα για τη διερεύνηση πιθανών κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με άλλες χώρες.

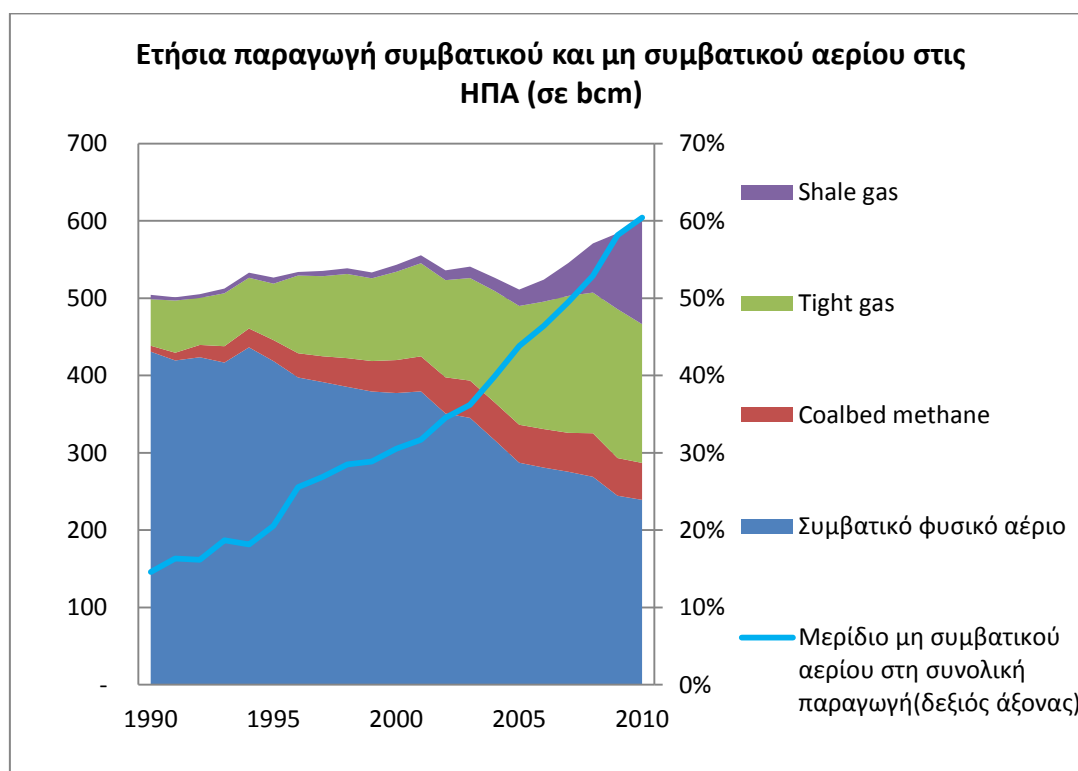
Σημαντικό κίνητρο επίσης για την παραγωγή μη συμβατικού αερίου στις ΗΠΑ αποτέλεσε η εφαρμογή του νόμου Crude Oil Windfall Profit Tax Act το 1980. Σύμφωνα με το άρθρο 29 του νόμου, εισήχθη μια φορολογική πίστωση των \$0,5 ανά mcf παραγωγής φυσικού αερίου. Αυτή η πίστωση ενθάρρυνε τις εξορυκτικές δραστηριότητες στο κοιτάσμα Antrim στη λεκάνη του Michigan, και μετά στο κοιτάσμα New Albany στην λεκάνη Fort Worth του βόρειου Τέξας. 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 βοήθησαν 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 [SDWA 1974], 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 του περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) [3]. 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.

Με την πτώση λοιπόν των αποθεμάτων συμβατικού φυσικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες, η ανάπτυξη των κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου τα τελευταία χρόνια βοήθησε στην κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης για ενέργεια. Σύμφωνα με την έκθεση του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ (US DOE) που δημοσιεύτηκε το 2009 [4], η παραγωγή από μη συμβατικά κοιτάσματα αυξήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες σχεδόν 80% μέσα σε μια δεκαετία, από 153 bcm/χρόνο το 1998 σε 270 bcm/χρόνο το 2007. Αυτή η αύξηση στην παραγωγή η οποία αποτυπώνεται και στις παρακάτω εικόνες σημαίνει ότι σχεδόν το 50% της συνολικής παραγωγής αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες προέρχεται από μη συμβατικές πηγές (Navigant 2008) [5].

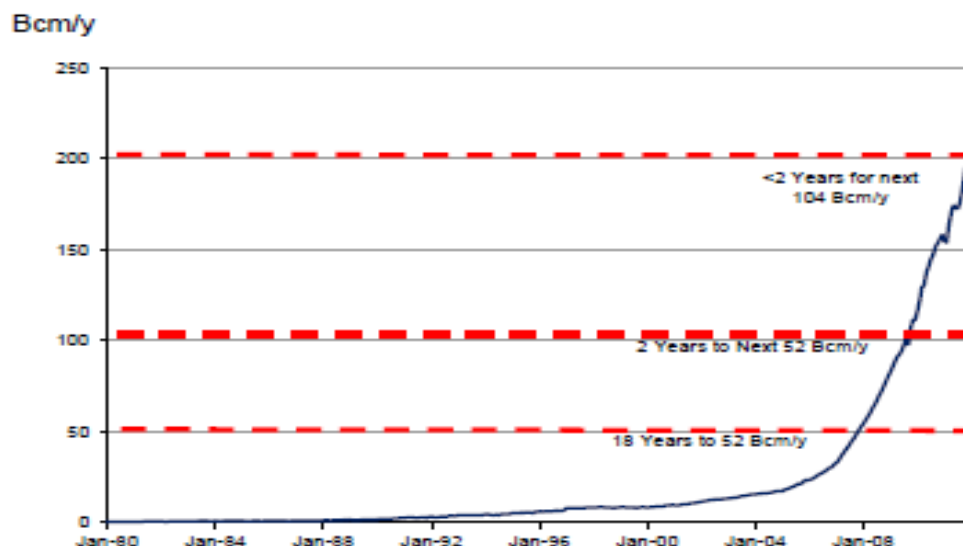
Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την μείωση της παραγωγής συμβατικού φυσικού αερίου στις ΗΠΑ το διάστημα 1990-2010 και την ταυτόχρονη αύξηση της παραγωγής μη συμβατικού αερίου το ίδιο διάστημα. Παρατηρείται ότι αυξάνεται η παραγωγή και στα τρία κύρια είδη μη συμβατικού αερίου. Επίσης παρουσιάζεται η εξέλιξη του μεριδίου της παραγωγής μη συμβατικού αερίου στην συνολική παραγωγή αερίου στις ΗΠΑ το διάστημα 1990-2010:



Διάγραμμα 1.1: Ετήσια παραγωγή συμβατικού και μη συμβατικού αερίου στις ΗΠΑ το διάστημα 1990-2010

Την μεγαλύτερη αύξηση το διάστημα 1990-2010 σημειώνει η παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ καθώς αυξήθηκε από 6 bcm το 1990 σε 138 bcm το 2010.

Αυτό αποτυπώνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 1.3: Ετήσια παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ από το 1980 μέχρι το 2012(σε bcm/χρόνο)

1.3.5. Τεχνολογία στην εξόρυξη των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου

Δύο τεχνολογίες αναδιαμόρφωσαν το οικονομικό προφίλ της ανάπτυξης μη συμβατικού φυσικού αερίου: (1) η οριζόντια γεώτρηση (horizontal drilling) και (2) η υδραυλική ρωγμάτωση (hydraulic fracturing).

Τις δεκαετίες 1980 και 1990 διεξήχθησαν οι πρώτες μελέτες από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (US DOE) και το Ινστιτούτο Έρευνας Φυσικού Αερίου (US GRI) με σκοπό την βελτίωση της τεχνολογίας που ήταν απαραίτητη για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού κοιτάσματος Ohio στη λεκάνη Appalachian και του κοιτάσματος Antrim στην περιοχή Michigan με την χρήση κάθετων φρεάτων. Προκειμένου να διεγερθεί επιτυχώς ο ταμιευτήρας μη συμβατικού αερίου και να επιλεγεί το καλύτερο χρονικό διάστημα για την ολοκλήρωση του φρέατος, οι στόχοι των προαναφερθέντων μελετών εστίασαν στην αξιολόγηση των σχιστολιθικών σχηματισμών και την βελτίωση των τεχνικών υδραυλικής ρωγμάτωσης. Η δημιουργία μακρών, αγωγίμων διατρήσεων αποτέλεσε ένα μεγάλο εμπόδιο σε αυτές τις πρώτες προσπάθειες εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων μη συμβατικού φυσικού αερίου. Ωστόσο, η κατάσταση άλλαξε με την εισαγωγή των τεχνικών της οριζόντιας γεώτρησης και της υδραυλικής ρωγμάτωσης που χρονολογούνται από το 1990, μετά τις πρωτοποριακές

προσπάθειες της εταιρίας Union Pacific Resources στην περιοχή Austin Chalk. Στην πραγματικότητα, το Austin Chalk αποτελεί το υπόδειγμα για τις σύγχρονες μεθόδους ανάπτυξης των πηγών μη συμβατικού αερίου. Από τότε φυσικά έχουν γίνει πολλές βελτιώσεις στην τεχνολογία. Ωστόσο, τα οριζόντια φρέατα και η υδραυλική ρωγμάτωση έδωσαν ώθηση για την ανάπτυξη του μη συμβατικού αερίου.

- **Η υδραυλική ρωγμάτωση**

Η υδραυλική ρωγμάτωση, η οποία αναπτύχθηκε αρχικά το 1940, αποτελεί μια αποτελεσματική και ευρύτατα διαδεδομένη τεχνολογία για ταμειυτήρες αποθήκευσης χαμηλής διαπερατότητας. Όταν η διαπερατότητα των πετρωμάτων είναι εξαιρετικά χαμηλή, όπως στην περίπτωση του σχιστολιθικού φυσικού αερίου ή του έγκλειστου αερίου, συχνά απαιτείται ο συνδυασμός οριζόντιων φρεάτων και υδραυλικής ρωγμάτωσης, ούτως ώστε να επιτευχθούν εμπορικά προσοδοφόρα επίπεδα παραγωγής.

Στη διεργασία εξόρυξης φυσικού αερίου από σχιστολιθικά πετρώματα, πρώτο στάδιο αποτελεί η κάθετη γεώτρηση μέχρι το σχιστολιθικό στρώμα, το οποίο, κατά κανόνα, βρίσκεται 2-3 χιλιόμετρα ή και περισσότερο κάτω από την επιφάνεια. Στη συνέχεια, η γεώτρηση συνεχίζεται στον οριζόντιο άξονα, ο οποίος εκτείνεται στο ένα χιλιόμετρο ή και παραπάνω από τον κάθετο άξονα, ενώ τα κάθετα και τα οριζόντια τμήματα της γεώτρησης επενδύονται κατόπιν με χαλύβδινο περίβλημα, το οποίο τσιμεντώνεται επί τόπου. Έπειτα, η οριζόντια επέκταση του περιβλήματος διατρύπεται με τη χρήση εκρηκτικών υλών, και, στη συνέχεια, ακολουθεί η έγχυση νερού, που περιέχει άμμο και πρόσθετες χημικές ουσίες, με πολύ υψηλή πίεση μέσα στο φρέαρ. Το νερό έρχεται σε επαφή με το σχιστολιθικό στρώμα μέσω των σχισμών, δημιουργώντας μια σειρά μικρών ρωγμών στο πέτρωμα (εξού και ο όρος «ρωγμάτωση»). οι κόκκοι άμμου που περιέχονται στο νερό συγκρατούν ανοικτές τις ρωγμές, ενώ οι χημικές ουσίες διευκολύνουν την εξόρυξη φυσικού αερίου από τον σχιστόλιθο. Το υπερπεπιεσμένο νερό επιστρέφει στην επιφάνεια όταν, μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας ρωγμάτωσης, ελευθερωθεί η πίεση εντός του φρέατος. Τότε, το φρέαρ ξεκινά την έκλυση φυσικού αερίου.

Για την προετοιμασία μίας και μόνο τοποθεσίας παραγωγής, μπορεί να χρειαστούν έως και 25 στάδια ρωγμάτωσης (ανά οριζόντιο φρέαρ), καθένα από τα οποία απαιτεί την έγχυση περισσότερων από 1,6 εκατομμυρίων λίτρων νερού - η συνολική ποσότητα του απαιτούμενου ύδατος μπορεί να υπερβεί τα 38 εκατομμύρια λίτρα, προτού το φρέαρ καταστεί πλήρως λειτουργικό. Ένα μέρος του νερού που διοχετεύεται επιστρέφει στην επιφάνεια και είναι μολυσμένο με χημικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν για τη ρωγμάτωση, καθώς και άλλα υλικά που απορρόφησε από τον σχιστολιθικό σχηματισμό.

- **Η οριζόντια Γεώτρηση**

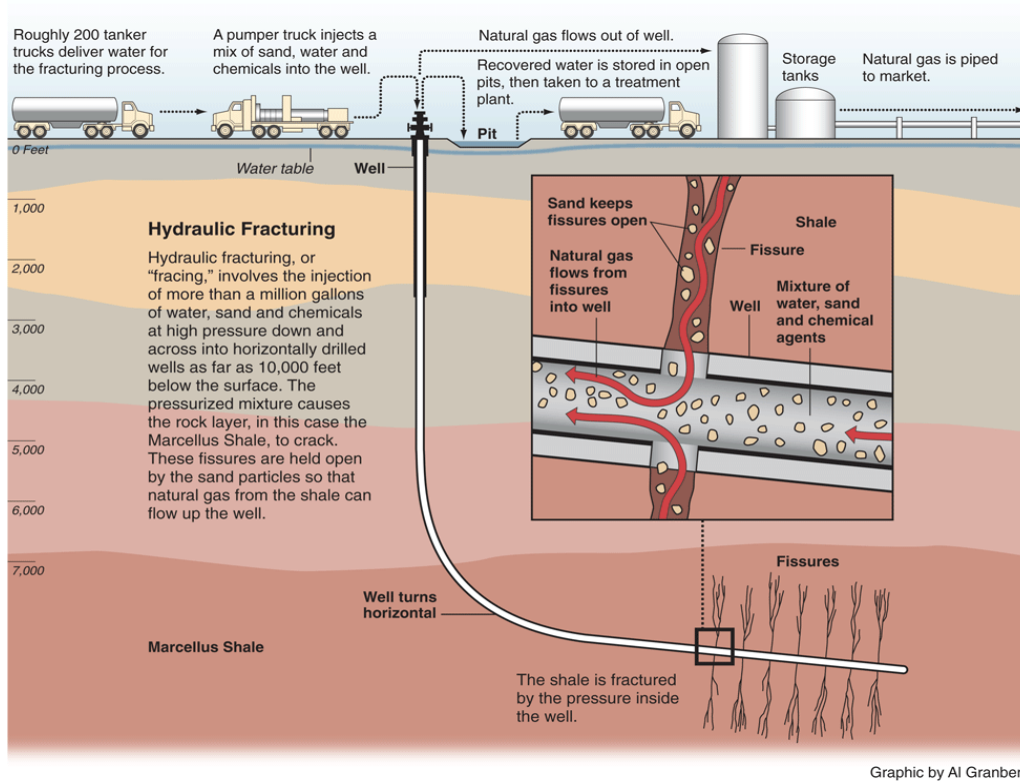
Η οριζόντια γεώτρηση συμβάλλει στην αύξηση του όγκου παραγωγής του φυσικού αερίου. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει μια κατακόρυφη γεώτρηση στο επιθυμητό βάθος και στη συνέχεια πλευρικές γεωτρήσεις για πρόσβαση σε μεγαλύτερο τμήμα του κοιτάσματος. Άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως από το 1980 στον πετρελαϊκό σχηματισμό του Austin Chalk στο Τέξας. Η οριζόντια γεώτρηση μεγιστοποιεί την επαφή του φρέατος με την επιφάνεια του πετρώματος, και έτσι μεγιστοποιείται η παραγωγή και ως προς την ροή και ως προς τον όγκο του αερίου που μπορεί να συλλεχθεί από το πηγάδι. Σύμφωνα με μια πιλοτική μελέτη της Devon Energy η εφαρμογή της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε οριζόντια φρέατα οδηγεί σε αύξηση της παραγωγής φυσικού αερίου δύο με τρεις φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τα κατακόρυφα φρέατα για τις πρώτες 180 μέρες παραγωγής αερίου [6].

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται χρονικά η αντικατάσταση των κάθετων φρεάτων με τα οριζόντια για την εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ την περίοδο 2004-2012.



Εικόνα 1.4: Κάθετα και οριζόντια φρέατα σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ το διάστημα 2004-2012

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η χρήση των τεχνικών της οριζόντιας γεώτρησης και της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε ένα κοίτασμα σχιστολιθικού αερίου.

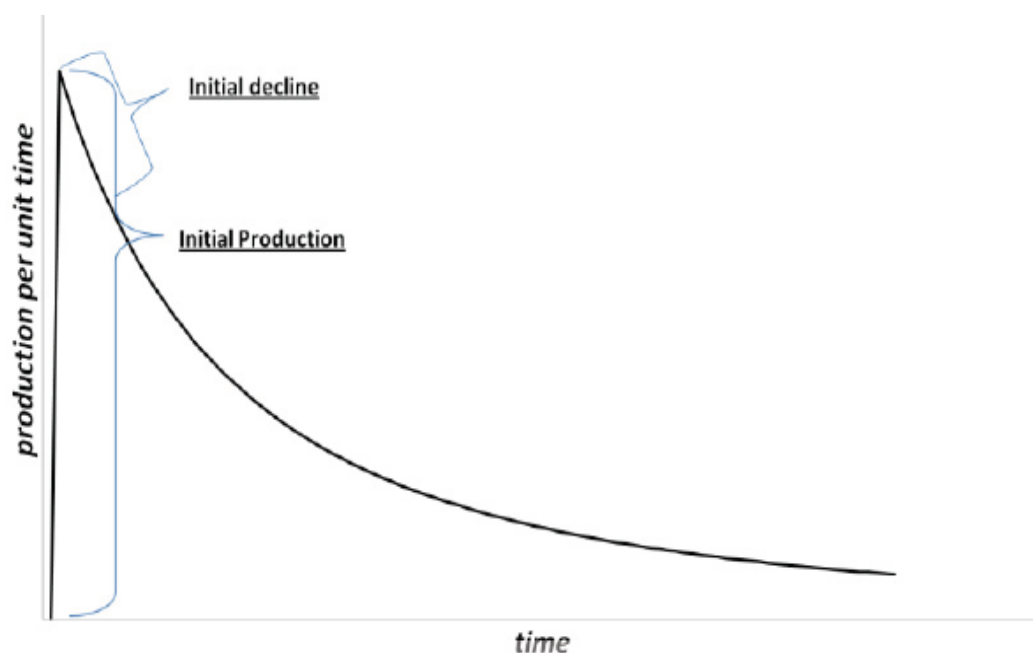


Εικόνα 1.5: Χρήση της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης και της οριζόντιας γεώτρησης σε κοίτασμα σχιστολιθικού αερίου

- **Προφίλ παραγωγής μη συμβατικών πηγών αερίου**

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό το οποίο διακρίνει την παραγωγή μη συμβατικού αερίου από την παραγωγή συμβατικού αερίου είναι η απότομη πτώση της παραγωγής των επιμέρους φρεάτων. Το ποσοστό πτώσης της παραγωγικότητας των φρεάτων σχιστολιθικού αερίου είναι έως 85% κατά το πρώτο έτος. Το τυπικό προφίλ παραγωγής χαρακτηρίζεται από απότομη αύξηση που επιδραδύνεται σύντομα. Μετά την παρέλευση μερικών ετών, όλα τα νέα φρέατα χρησιμοποιούνται για να αντισταθμίσουν την μείωση της παραγωγικότητας παλαιότερων φρεάτων. Μόλις σταματήσει η ανάπτυξη νέων φρεάτων, η συνολική παραγωγή μειώνεται αμέσως.

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει το τυπικό προφίλ παραγωγής αερίου από ένα φρέαρ σε κοιτάσμα μη συμβατικού αερίου.



Εικόνα 1.6: Τυπικό προφίλ παραγωγής μη συμβατικών πηγών αερίου

Ο κύριος λόγος της απότομης πτώσης της παραγωγής μη συμβατικού αερίου είναι ότι η αρχική πίεση μετά τη ρωγμάτωση είναι πολύ υψηλότερη από τη φυσική πίεση του κοιτάσματος. Με τη ρωγμάτωση, η πίεση εκτονώνεται. Το αποτέλεσμα είναι η ταχεία αναρροή λυμάτων (υγρό υδραυλικής ρωγμάτωσης), τα οποία περιέχουν όλα τα κινητά συστατικά και τους ρυπογόνους παράγοντες του κοιτάσματος, συμπεριλαμβανομένου του ίδιου του φυσικού αερίου. Λόγω της μεγάλης ροής σε σύγκριση με το μέγεθος του κοιτάσματος, η πίεση του κοιτάσματος πέφτει πολύ γρήγορα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ένα προφίλ απότομης πτώσης της παραγωγής. Ενώ τα κοιτάσματα συμβατικού αερίου εμφανίζουν ποσοστά πτώσης της τάξης αρκετών εκατοστιαίων μονάδων ετησίως, η παραγωγή των κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου μειώνεται κατά αρκετές εκατοστιαίες μονάδες μηνιαίως. Η ιστορική ανάλυση μερικών μη συμβατικών σχηματισμών αερίου στις ΗΠΑ δείχνει ότι η αρχική παραγωγή είναι πολύ μικρότερη και ο επακόλουθος ρυθμός πτώσης πολύ πιο απότομος απ'ότι στα συμβατικά κοιτάσματα. Έτσι, γίνονται προσπάθειες από τεχνολογικής άποψης να βελτιστοποιηθεί η παραγωγή, ώστε να εξορύσσεται το αέριο όσο το δυνατό ταχύτερα.

Η τεχνολογία διαδραματίζει λοιπόν καίριο ρόλο στην ανάπτυξη των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου. Βελτιωμένες τεχνολογίες στις γεωτρήσεις επιτρέπουν την οικονομικά αποδοτική εκμετάλλευση των κοιτασμάτων μη συμβατικού φυσικού αερίου, μετατρέποντας τα κοιτάσματα αυτά σε μια ολοένα σημαντικότερη πηγή φυσικού αερίου. Εξαιτίας της αλληλεξάρτησης των πετρωμάτων, της ορυκτολογίας και της γεωμηχανικής για την παραγωγή, μια ολοκληρωμένη κατανόηση για το πως μπορούν αυτοί οι παράγοντες να επηρεάσουν την παραγωγή είναι σε θέση να βελτιστοποιήσει τις τεχνικές γεώτρησης και υδραυλικής ρωγμάτωσης, μειώνοντας το κόστος ανάπτυξης και αυξάνοντας το συντελεστή απόληψης για τις μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου.

Κατά την τελευταία δεκαετία, η ευρεία χρήση προφίλ σεισμικής ανάκλασης 3-D, η εφαρμογή οριζόντιων γεωτρήσεων και της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης είχαν σημαντικές επιπτώσεις στην εκμετάλλευση και παραγωγή μη συμβατικού αερίου σε πολλές λεκάνες της Βόρειας Αμερικής. Εκτός από τις προαναφερθείσες καινοτόμες τεχνολογίες, έχουν υλοποιηθεί σημαντικές βελτιώσεις σε βασικούς τεχνικούς τομείς σαν αποτέλεσμα της συνεχιζόμενης προσπάθειας της βιομηχανίας του φυσικού αερίου για αναζήτηση πιο οικονομικών και αποτελεσματικών μεθόδων. Οι βελτιώσεις που παρατηρούνται στον προγραμματισμό των φρεάτων που διανοίγονται, η πρόοδος στα σύγχρονα γεωτρήματα, στην τηλεπισκόπηση και στις μεθόδους άντλησης γεωλογικών πληροφοριών έχουν μειώσει το κόστος γεώτρησης σε πολλές περιοχές και κρατούν τα λειτουργικά έξοδα σε σχετικά χαμηλά επίπεδα. Η εφαρμογή νέων τεχνολογιών έχει μειώσει επίσης τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου. Γεωφυσικές τεχνικές για την μελέτη των γεωμηχανικών ιδιοτήτων των δεξαμενών επιτρέπουν την βελτιστοποίηση των παραμέτρων του σχεδιασμού τους, όπως το πλευρικό μήκος, μειώνοντας τις εδαφικές διαταραχές και τις απαιτήσεις για νερό. Η πρόοδος στις τεχνολογίες για την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση του νερού έχουν μειώσει τις επιπτώσεις στους υδάτινους πόρους βελτιώνοντας ταυτόχρονα τα οικονομικά της ανάπτυξης. Ωστόσο, απαιτείται συνεχής έρευνα για την κατανόηση της φυσικής που διέπει τη ροή σε μη συμβατικά κοιτάσματα και των διαφορών που παρουσιάζει η παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου, του έγκλειστου αερίου και του μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων με στόχο τη βέλτιστη εκμετάλλευση της τεχνολογίας.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται σημεία που η τρέχουσα τεχνολογία στην εκμετάλλευση μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου χρειάζεται να αναπτυχθεί τα επόμενα χρόνια.

Τομείς βελτίωσης της τεχνολογίας τα επόμενα χρόνια	Λεπτομέρειες και επίδραση της βελτίωσης της τεχνολογίας
Ανίχνευση σε πραγματικό χρόνο των σημείων που περιέχουν μη συμβατικό αέριο κατά την γεώτρηση	Θα βοηθήσει το γεωτρήσιμο να διεισδύσει στις πιο παραγωγικές περιοχές του ταμειυτήρα
Γεώτρηση σπειροειδούς σωλήνωσης σε φρέατα με λιγότερο από 5000 πόδια βάθος	Θα επιτρέψει να υλοποιηθούν τα πλεονεκτήματα της συνεχούς σωληνωειδούς γεώτρησης (γρήγορη διάτρηση, μικρό αποτύπωμα) για τις μέχρι σήμερα δύσκολες περιοχές γεώτρησης
3-D σεισμική απεικόνιση των στρωμάτων και των φυσικών διατρήσεων στους ταμειυτήρες μη συμβατικού αερίου	Θα βελτιώσει την αποτελεσματικότητα ανάκτησης από τα υπάρχοντα φρέατα, αν χρησιμοποιηθούν επιτυχώς οι δοκιμαστικές μέθοδοι για την καλύτερη κατανόηση των ταμειυτήρων
Επεξεργασία παραγόμενου νερού	Το παραγόμενο νερό θα υφίσταται επεξεργασία και θα χρησιμοποιείται ώστε να μην θεωρείται πλέον ως μια ροή αποβλήτων, αλλά ως πολύτιμο προϊόν για γεωργική και βιομηχανική χρήση
Γεώτρηση σε μεγάλο βάθος	Χρειάζεται να καθοριστεί το μέγιστο βάθος που μπορεί να βρίσκονται οι ταμειυτήρες μη συμβατικού αερίου ώστε να αξιοποιούνται
Επεξεργασία δεδομένων και δημιουργία βάσεων δεδομένων	Βάσεις δεδομένων διαθέσιμες και φιλικές προς τον χρήστη θα επιτρέπουν την πρόσβαση σε γεωλογικά και τεχνικά δεδομένα για τις περισσότερες λεκάνες σε όλο τον κόσμο
Δοκιμαστικές τεχνικές για την διάτρηση μη συμβατικών σχηματισμών	Πρέπει να κατανοηθούν καλύτερα οι ταμειυτήρες ώστε να βελτιστοποιηθεί η ανάκτηση αερίου
Βελτιωμένη ανάκτηση	Η διάρκεια ζωής του φρέατος πρέπει να επιμηκυνθεί μέσω της βελτίωσης της τεχνολογίας με σκοπό την αύξηση της ανάκτησης αερίου

Πίνακας 1.2: Μελλοντικοί τομείς βελτίωσης της τεχνολογίας και επιδράσεις της στην εξόρυξη μη συμβατικού αερίου

1.3.6. Ορισμοί πόρων μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου

Πριν προχωρήσουμε στον προσδιορισμό των ποσοτήτων μη συμβατικού αερίου, θα αναλύσουμε τους όρους που χρησιμοποιούνται στην παγκόσμια βιβλιογραφία για να περιγράψουν τα αποθέματα και τους πόρους του. Οι διάφορες υπηρεσίες που εμπλέκονται στην αξιολόγηση των κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου χρησιμοποιούν διαφορετικούς ορισμούς και μεθοδολογίες. Οι εκτιμήσεις για τα αποθέματα μη συμβατικού αερίου παρέχονται για διαφορετικά επίπεδα χωρικής συγκέντρωσης (χώρα, περιοχή, ζώνη περιοχών, γεωλογικό κοίτασμα, φρέατα) και αναφέρονται είτε στις ποσότητες αερίου που εκτιμώνται να είναι παρούσες είτε για ποσότητες αερίου που είναι τεχνικά ή οικονομικά απολήψιμες. Στην τελευταία περίπτωση, αυτές οι εκτιμήσεις εκφράζονται είτε με πιθανότητες απόληψης είτε με διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης (π.χ. πιθανά, δυνητικά). Ωστόσο, καθίσταται ανάγκη να δοθούν σαφείς και ποσοτικοποιημένοι ορισμοί και κατάλληλες ερμηνείες των μεγεθών αυτών διότι προκύπτουν προβλήματα όταν συγκρίνονται διαφορετικές εκτιμήσεις από ποικίλες μελέτες.

Γενικά, όταν μελετώνται ποσότητες μη συμβατικού αερίου το μεγαλύτερο μέγεθος που δίνεται είναι το αρχικό αέριο στο κοίτασμα (OGIP). Αυτό αναφέρεται στο συνολικό όγκο του αερίου που εκτιμάται να υπάρχει σε ένα δεδομένο φρέαρ ή σε μια δεδομένη περιοχή. Με τη σημερινή τεχνολογία, και χωρίς να λαμβάνονται υπόψη το κόστος εξόρυξης, οι τιμές φυσικού αερίου και άλλα επενδυτικά κριτήρια το ποσοστό του αερίου στο κοίτασμα που μπορεί να παραχθεί τεχνικά αναφέρεται ως τεχνικά απολήψιμοι πόροι (TRR). Το μέρος των τεχνικά απολήψιμων πόρων που μπορεί να παραχθεί οικονομικά με βάση τις παρούσες οικονομικές συνθήκες (π.χ. τιμή του φυσικού αερίου) αναφέρεται ως οικονομικά απολήψιμοι πόροι (ERR).

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής θα χρησιμοποιηθούν οι ορισμοί που επεξηγούνται παρακάτω.

Original Gas In Place (OGIP) – Αέριο στο κοίτασμα

Ο όρος αυτός αναφέρεται στη συνολική ποσότητα φυσικού αερίου που εκτιμάται να περιέχεται στο υπέδαφος. Περιλαμβάνει το φυσικό αέριο που έχει ήδη ανακαλυφθεί και παραχθεί, καθώς και εκτιμήσεις του αερίου που πρόκειται να ανακαλυφθεί (yet to be discovered) μέσω μελλοντικών δραστηριοτήτων. Οι πόροι σχιστολιθικού αερίου στο κοίτασμα είναι εκτιμήσεις βασισμένες σε γεωλογικές παραμέτρους, όπως η έκταση και το πάχος της περιοχής, το πορώδες και το αέριο κατ' όγκο κ.λπ. Εν μέρει, τα δεδομένα αυτά έχουν επαληθευθεί πειραματικά, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις είναι κατά προσέγγιση εκτιμήσεις σε μεγάλη κλίμακα. Υπάρχουν διάφορα επίπεδα αβεβαιότητας που συνδέονται με αυτές τις εκτιμήσεις. Εκτιμήσεις της ποσότητας του αερίου που πρόκειται να βρεθεί σε λεκάνες που δεν έχουν

αναπτυχθεί προηγουμένως υπόκεινται σε υψηλά επίπεδα αβεβαιότητας ενώ αποθέματα αερίου που έχουν παραχθεί ήδη υπολογίζονται με ακρίβεια. Μια εκτίμηση των πόρων είναι γενικά πολύ χαμηλότερης ποιότητας σε σχέση με μια εκτίμηση αποθεμάτων, καθώς βασίζεται σε πολύ πιο αβέβαιη ανάλυση γεωλογικών δεδομένων. Βάσει της υπάρχουσας πείρας, η πιθανότητα είναι μόλις 15-40% το εκτιμώμενο αέριο στο κοίτασμα να μετατραπεί σε απολήψιμα αποθέματα αερίου κατά τις επόμενες δεκαετίες.

Technically Recoverable Resources – Τεχνικά απολήψιμοι πόροι

Οι τεχνικά απολήψιμοι πόροι σχιστολιθικού αερίου είναι οι ποσότητες εκείνες οι οποίες σύμφωνα με τις εκτιμήσεις μπορούν να παραχθούν με την υφιστάμενη τεχνολογία εάν το κοίτασμα αναπτυχθεί εκτενώς, αγνοώντας οικονομικούς περιορισμούς. Οι θεωρητικοί τεχνικά απολήψιμοι πόροι σχιστολιθικού αερίου διά τους πόρους αερίου στο κοίτασμα παρέχουν τον συντελεστή απόληψης ή απόδοση (Recovery Factor).

Economically Recoverable Resources – Οικονομικά απολήψιμοι πόροι

Οι οικονομικά απολήψιμοι πόροι αποτελούν υποσύνολο των τεχνικά απολήψιμων πόρων και αντιπροσωπεύουν τις ποσότητες φυσικού αερίου που μπορούν να παραχθούν υπό τις παρούσες τεχνικές και οικονομικές συνθήκες. Δηλαδή, μόνο ένα ορισμένο ποσοστό των τεχνικά απολήψιμων πόρων σχιστολιθικού αερίου μετατρέπεται σε αποθέματα και μπορεί να παραχθεί με την πάροδο του χρόνου, καθώς άλλοι περιορισμοί εμποδίζουν την πρόσβαση σε ολόκληρο το κοίτασμα σχιστολιθικού αερίου, για παράδειγμα, η γεωγραφία της επιφάνειας, προστατευόμενες περιοχές (π.χ. ταμιευτήρες πόσιμου νερού, καταφύγια άγριων ζώων, εθνικά πάρκα) ή απλώς πυκνοκατοικημένες περιοχές με περιορισμένη πρόσβαση στους σχιστολιθικούς σχηματισμούς. Οι εκτιμήσεις των οικονομικά απολήψιμων πόρων υπόκεινται σε υποθέσεις σχετικά με τις ισχύουσες οικονομικές και τεχνικές συνθήκες καθώς και την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου και μπορούν να μεταβληθούν με το πέρασμα του χρόνου.

Reserves – Αποθέματα

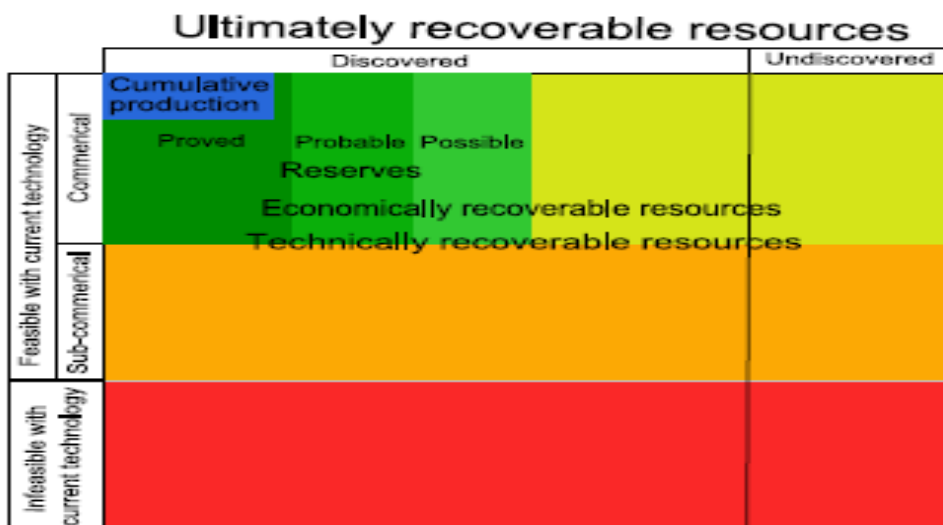
Τα αποθέματα συνιστούν υποσύνολο των πόρων. Ο ακριβής ορισμός των αποθεμάτων ποικίλει μεταξύ των διαφόρων πηγών, ωστόσο γενικά αποτελούν τμήμα των οικονομικά απολήψιμων πόρων που έχουν ήδη ανακαλυφθεί και τα οποία εμφανίζουν μια συγκεκριμένη πιθανότητα να παραχθούν. Υπάρχουν δύο επίπεδα εμπιστοσύνης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

- proved reserves (1P) βεβαιωμένα αποθέματα: τα βεβαιωμένα αποθέματα αερίου αντιπροσωπεύουν τις ποσότητες αερίου που μπορούν να παραχθούν με υφιστάμενα ή σχεδιαζόμενα φρέατα υπό τις παρούσες οικονομικές και τεχνικές συνθήκες με βεβαιότητα ανάκτησης ίση με 90%.
- proved and probable reserves (2P) βεβαιωμένα και πιθανά αποθέματα: τα βεβαιωμένα και πιθανά αποθέματα αντιπροσωπεύουν τις ποσότητες αερίου που έχουν πιθανότητα ανάκτησης ίση με 50%. Αυτά είναι γνωστά και ως P50.

Μια σύγκριση των διαφορετικών ορισμών που επεξηγήθηκαν παραπάνω φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες. Καθώς η παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο και υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με τις εκτιμήσεις των αποθεμάτων αναμένεται μια επικάλυψη μεταξύ των τεχνικά και οικονομικά απολήψιμων πόρων παρά την θεωρητική τους διάκριση.

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 1.7: Σύντομη περιγραφή των ορισμών των πόρων μη συμβατικού αερίου



Εικόνα 1.8: Διάκριση μεταξύ των πόρων και των αποθεμάτων

1.3.7. Εκτίμηση των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου

Τα τελευταία χρόνια έχουν δημοσιευθεί πολλές εκτιμήσεις για τους πόρους μη συμβατικού αερίου σε παγκόσμιο επίπεδο από διάφορους μελετητές, διεθνή ινστιτούτα και εταιρίες συμβούλων. Η μελέτη που εκπονήθηκε από τον Rogner το 1997 σχετικά με τους πόρους του μη συμβατικού αερίου αποτελεί την βάση σχεδόν όλων των εκτιμήσεων των πόρων μέχρι το 2009. Στη μελέτη αυτή εκτιμήθηκε η ποσότητα αερίου στο κοίτασμα (OGIP) για τους τρεις τύπους μη συμβατικού αερίου σε 11 ηπειρωτικές περιοχές. Σύμφωνα με την μελέτη αυτή, η συνολική παγκόσμια ποσότητα αερίου στο κοίτασμα για τους τρεις κύριους τύπους μη συμβατικού αερίου (σχιστολιθικό αέριο, έγκλειστο αέριο, μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων) είναι 922 τcm εκ των οποίων το 50% είναι σχιστολιθικό αέριο. Η μελέτη αυτή ωστόσο δεν παρείχε τις κατανομές του αερίου στο κοίτασμα σε επιμέρους χώρες, ούτε υποδείκνυε την ποσότητα των τεχνικά απολήψιμων πόρων. Πολλοί ερευνητές από τότε έχουν παρουσιάσει στις μελέτες τους εκτιμήσεις των τεχνικά απολήψιμων πόρων εφαρμόζοντας κάποιο συντελεστή απόληψης στις εκτιμήσεις του Rogner. Χαρακτηριστικές τιμές των συντελεστών απόληψης είναι 15% από τους Mohr και Evans [8], εύρος 10%-35% από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασσαχουσέτης (MIT) [9], και 40% από την συμβουλευτική εταιρία ARI [10] και την Διεθνή Υπηρεσία Ενέργειας [11]. Αντίθετα, η ανάκτηση από τα φρέατα συμβατικού αερίου κυμαίνεται ανάμεσα στο 70%-80% [12].

Μετά την μελέτη του Rogner, ακολούθησαν οι μελέτες του Holditch, του Γεωλογικού Ινστιτούτου των ΗΠΑ (USGS), του Εθνικού Συμβουλίου Πετρελαίου (NPC), των συμβουλευτικών εταιριών ARI, Wood Mackenzie και IHS. Ωστόσο υπάρχουν πολλά πράγματα που δεν είναι ακόμα γνωστά, κυρίως έξω από την Βόρεια Αμερική, όπως τα παραγωγικά όρια των αναδυόμενων κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου και η επίδραση της βελτίωσης της τεχνολογίας γεώτρησης και ολοκλήρωσης φρεάτων στην παραγωγικότητα τους. Έτσι, οι περισσότερες από αυτές τις μελέτες θα πρέπει να αντιμετωπιστούν με ένα χαμηλό επίπεδο εμπιστοσύνης.

Επίσης, οι εκτιμήσεις των απολήψιμων πόρων μη συμβατικού αερίου έχουν αλλάξει και θα συνεχίσουν να αλλάζουν τα επόμενα χρόνια. Η συνεχής εμφάνιση νέων κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου, η δυνατότητα μιας πιο εντατικής ανάπτυξης των κοιτασμάτων που έχουν ήδη ανακαλυφθεί και η πρόοδος της εξορυκτικής τεχνολογίας επηρεάζει το τελικό μέγεθος των απολήψιμων πόρων. (Αυτό φαίνεται από την αύξηση των κοιτασμάτων σε έρευνες των ίδιων των ινστιτούτων μέσα στα χρόνια).

Επιπλέον, λόγω της διαφορετικής φύσης των κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με τα συμβατικά, έχουν αναπτυχθεί νέες μεθοδολογίες αξιολόγησης τους. Τα παραδοσιακά κριτήρια αξιολόγησης τους έχουν εγκαταλειφθεί και οι νέες αυτές μεθοδολογίες και παραδοχές που χρησιμοποιούνται είναι αρκετά διαφορετικές, με αποτέλεσμα ένα πολύ ευρύ φάσμα εκτιμήσεων των πόρων μη συμβατικού αερίου.

Η πρόκληση της εκτίμησης του μεγέθους και της ποιότητας των πόρων μη συμβατικού αερίου είναι ιδιαίτερα μεγάλη έξω από την Βόρεια Αμερική, λόγω κυρίως της μη ωριμότητας της συγκεκριμένης βιομηχανίας και των περιορισμών πρόσβασης σε πόρους συγκεκριμένων χωρών.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις εκτιμήσεις των πόρων σχιστολιθικού αερίου, έγκλειστου αερίου και μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων σύμφωνα με την μελέτη του Rogner.

Περιοχή	Σχιστολιθικό αέριο (σε Tcm)	CBM (σε Tcm)	Έγκλειστο Αέριο (σε Tcm)
North America	109	85	39
Latin America	60	1	37
Western Europe	14	4	10
Central and Eastern Europe	1	3	2
Former Soviet Union	18	112	26
Middle East and North Africa	72	0	23
Sub-Saharan Africa	8	1	22
Centrally planned Asia and China	100	34	10
Pacific	65	13	20
Other Asia Pasific	9	0	16
South Asia	0	1	6
World	456	256	210

Πίνακας 1.3: Εκτίμηση των πόρων σχιστολιθικού αερίου, έγκλειστου αερίου και CBM [7]

- **Σχιστολιθικό αέριο**

Χρησιμοποιώντας τις εκτιμήσεις της μελέτης του Rogner, οι παγκόσμιες εκτιμήσεις των τεχνικά απολήξιμων πόρων σχιστολιθικού αερίου εφαρμόζοντας συντελεστή απόληξης 15% ανέρχονται σε 68 tcm ενώ με συντελεστή απόληξης 40% αυξάνονται σε 181,3 tcm. Έτσι, το εύρος 15%-40% στους τεχνικά απολήξιμους πόρους σχιστολιθικού αερίου οδηγεί σε μια αβεβαιότητα της τάξης των 113,3 tcm παγκοσμίως. Η ποσότητα αυτή είναι ίση με περίπου το 1/3 της εκτίμησης του Ομοσπονδιακού Ινστιτούτου για τις Επιστήμες Γεωλογίας και Φυσικών Πόρων της Γερμανίας (BGR) για τους τεχνικά απολήξιμους πόρους (425 tcm) [13].

Μια έκθεση του Παγκόσμιου Συμβουλίου Ενέργειας (WEC) το 2010 [14] δίνει εκτιμήσεις των ποσοτήτων αερίου στο κοιτάσμα για περιοχές παρόμοιες με αυτές που ερευνώνται στην μελέτη του Rogner. Παρ'όλα αυτά υπάρχουν διαφορές ως προς τις εκτιμώμενες ποσότητες. Στην έκθεση αυτή χρησιμοποιείται συντελεστής απόληξης 40% ενώ οι οικονομικά απολήξιμοι πόροι ανέρχονται σε 170 tcm. Όμως αν λάβουμε υπόψη ότι το κόστος εξόρυξης και οι συνθήκες της αγοράς τη στιγμή που οι πόροι θα εξαχθούν είναι αβέβαιες, ιδιαίτερα σε περιοχές που σήμερα δεν υπάρχει παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, είναι πιθανό η εκτίμηση του Παγκόσμιου Συμβουλίου Ενέργειας να αντιστοιχεί στην πραγματικότητα περισσότερο στους τεχνικά απολήξιμους πόρους παρά στους οικονομικά απολήξιμους.

Άλλες δύο πρόσφατες ανεξάρτητες εκθέσεις εκτιμούν τους τεχνικά απολήψιμους πόρους σχιστολιθικού αερίου σε παγκόσμιο επίπεδο [15], [16]. Ωστόσο, και αυτές δεν επιχειρούν να αξιολογήσουν όλα τα κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου και υποδεικνύουν ότι υπάρχει περιορισμένη γεωλογική πληροφόρηση σχετικά με δυνητικά κοιτάσματα που περιέχουν σχιστολιθικό αέριο.

Η έκθεση της συμβουλευτικής εταιρίας ARI [15] για παράδειγμα αγνοεί περιοχές όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες αποθεμάτων συμβατικού αερίου (Ρωσία και Μέση Ανατολή) ή όπου δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες για τη διεξαγωγή εκτιμήσεων. Επίσης ο Medlock στην έκθεση του [16] σχετικά με το σχιστολιθικό αέριο και την ενεργειακή ασφάλεια στις ΗΠΑ δίνει εκτιμήσεις για τα πιθανά κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου σε 6 χώρες έξω από την Βόρεια Αμερική και δικαιολογεί τον αποκλεισμό των κοιτασμάτων σχιστολιθικού αερίου που δεν περιλαμβάνει στις εκτιμήσεις του ότι τα κοιτάσματα αυτά δεν είναι πιθανό να είναι οικονομικά απολήψιμα. Επομένως καμία από τις δύο εκθέσεις δεν παρέχει παγκόσμιες εκτιμήσεις για τους τεχνικά απολήψιμους πόρους σχιστολιθικού αερίου.

- **Έγκλειστο Αέριο**

Το 2001, ο Kawata και ο Fujita, βασιζόμενοι στις εκτιμήσεις της μελέτης του Rogner, εκτίμησαν ότι οι πόροι έγκλειστου αερίου ανέρχονται σε 210 tcm [19]. Το 2009, ο Kuuskraa στην έκθεση του για την συμβουλευτική εταιρία ARI αναφέρει ότι οι παγκόσμιοι πόροι έγκλειστου αερίου ανέρχονται σε 210 tcm ενώ βασιζόμενος στην μελέτη του Παγκόσμιου Οργανισμού Ενέργειας (IEA) αναφέρει ποσότητα 110 tcm τεχνικά απολήψιμων πόρων [10]. Το 2010 το Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο για τις Επιστήμες Γεωλογίας και Φυσικών Πόρων της Γερμανίας (BGR) εκτίμησε ότι οι παγκόσμιοι πόροι έγκλειστου αερίου είναι 210 tcm [13]. Το ίδιο έτος, το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασσαχουσέτης (MIT) εκτίμησε ότι οι πόροι έγκλειστου αερίου είναι 256 tcm [9]. Τέλος, το 2012, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Ενέργειας εκτίμησε ότι οι πόροι έγκλειστου αερίου ανέρχονται σε 203 tcm [18].

- **Μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων (CBM)**

Τον Αύγουστο το 2001, ο Nickolas Aluko δημοσίευσε μια έκθεση σχετικά με την εξόρυξη και χρήση του μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων [17]. Σύμφωνα με αυτή, το εύρος των πόρων CBM σε 11 χώρες ανέρχεται ανάμεσα στα 86 tcm και 283 tcm. Το 2009, ο Kuuskraa στην έκθεση του για την συμβουλευτική εταιρία ARI εκτίμησε ότι το εύρος των πόρων του CBM κυμαίνεται μεταξύ 100-216 tcm [10]. Επίσης εκτίμησε ότι οι τεχνικά απολήψιμοι πόροι CBM είναι 24 tcm. Το 2010 το Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο για τις Επιστήμες Γεωλογίας και Φυσικών Πόρων της Γερμανίας (BGR) συνέταξε μια έκθεση σχετικά με τα αποθέματα, τους πόρους και την διαθεσιμότητα των ενεργειακών πόρων [13]. Σύμφωνα με την έκθεση αυτή, οι παγκόσμιοι πόροι CBM ανέρχονται σε 254 tcm ενώ δεν γίνεται εκτίμηση των τεχνικά απολήψιμων πόρων. Το 2012, η Διοίκηση Ενεργειακών Πληροφοριών των ΗΠΑ (US EIA) στην έκθεση World Energy Outlook εκτιμά ότι οι τεχνικά απολήψιμοι πόροι μεθανίου από κοιτάσματα γαιάνθρακα είναι 47 tcm [18].

1.3.8. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Αν και η ανάπτυξη των κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία παραγωγής τους εμφανίζουν κοινά σημεία με ότι εφαρμόζεται στην βιομηχανία φυσικού αερίου, ωστόσο η εκμετάλλευση αυτών των κοιτασμάτων συνδέεται με υψηλού κινδύνου περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Αυτός είναι και ο λόγος που το θέμα της παραγωγής μη συμβατικού αερίου έχει εγείρει μεγάλη διαμάχη σε αρκετές χώρες .

Ο κύριος λόγος για τον δυνητικά μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο της εκμετάλλευσης του μη συμβατικού φυσικού αερίου σχετίζεται με τη φύση των ίδιων των πόρων του. Αυτοί παρουσιάζουν λιγότερη συγκέντρωση σε σχέση με τους αντίστοιχους του συμβατικού αερίου και δεν είναι εύκολα ανιχνεύσιμοι. Είναι δύσκολο να εξαχθούν, επειδή είναι παγιδευμένοι σε πετρώματα χαμηλής διαπερατότητας που παρεμποδίζουν τη φυσική ροή τους. Αυτό σημαίνει ότι οι διαδικασίες γεώτρησης και παραγωγής μπορεί να γίνουν ιδιαίτερα επεμβατικές στο περιβάλλον. Ένα παράδειγμα της μεγαλύτερης κλίμακας εργασιών που απαιτούνται για την εξαγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου είναι η ανάγκη για περισσότερα φρέατα. Ενώ τα χερσαία συμβατικά κοιτάσματα φυσικού αερίου ενδέχεται να απαιτούν λιγότερα από ένα φρέαρ ανά δέκα τετραγωνικά χιλιόμετρα, τα μη συμβατικά κοιτάσματα απαιτούν πάνω από ένα φρέαρ ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (πάνω από τα δεκαπλάσια), αυξάνοντας σημαντικά τον αντίκτυπο της γεώτρησης στο περιβάλλον και τους κατοίκους της αντίστοιχης περιοχής.

Ένας άλλος παράγοντας είναι η ανάγκη μιας πιο σύνθετης και εντατικής προετοιμασίας για την παραγωγή μη συμβατικού αερίου. Ενώ η υδραυλική ρωγμάτωση χρησιμοποιείται ήδη σε ορισμένες περιπτώσεις για την διέγερση κοιτασμάτων συμβατικού φυσικού αερίου, τα κοιτάσματα σχιστολιθικού και έγκλειστου αερίου σχεδόν πάντα απαιτούν τη χρήση αυτής της τεχνικής, ώστε να δημιουργηθούν οι απαιτούμενες ταχύτητες ροής εντός του φρεατίου. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται επίσης πολύ συχνά για την παραγωγή μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων. Επιπλέον, η κατανάλωση και απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων νερού εντείνουν τις περιβαλλοντικές ανησυχίες, περιλαμβάνοντας φόβους μείωσης των υδάτινων πόρων και πιθανής μόλυνσης των επιφανειακών και υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.

Οι ενδεχόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εκμετάλλευσης του μη συμβατικού αερίου συνοψίζονται στα ακόλουθα:

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

Παρακάτω αναλύονται μερικές από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης:

- **Κατανάλωση νερού**

Η κατανάλωση μεγάλου όγκου νερού και ο κίνδυνος μόλυνσης του αποτελούν καίρια ζητήματα στην ανάπτυξη του μη συμβατικού αερίου και έχουν δημιουργήσει μεγάλη ανησυχία στο κοινό. Στην περίπτωση ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου ή έγκλειστου αερίου, αν και κάποια ποσότητα νερού απαιτείται κατά τη φάση της γεώτρησης, οι μεγαλύτερες ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας υδραυλικής ρωγμάτωσης καθώς κάθε φρέαρ μπορεί να χρειάζεται μέχρι και 20.000 κυβικά μέτρα. Η αποτελεσματική χρήση του νερού κατά την ρωγμάτωση είναι απαραίτητη.

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται σύγκριση μεταξύ της ποσότητας νερού που απαιτείται για την ανάπτυξη σχιστολιθικού αερίου και έγκλειστου αερίου, μετρημένη σε ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας με την αντίστοιχη ποσότητα νερού που απαιτείται στην περίπτωση της παραγωγής συμβατικού αερίου και συμβατικού πετρελαίου.

	Water consumption	
	Production	Refining
Natural gas		
Conventional gas	0.001 - 0.01	
Conventional gas with fracture stimulation	0.005 - 0.05	
Tight gas	0.1 - 1	
Shale gas	2 - 100	
Oil		
Conventional oil*	0.01 - 50	5 - 15
Conventional oil with fracture stimulation*	0.05 - 50	5 - 15
Light tight oil	5 - 100	5 - 15

Εικόνα 1.9: Εύρος κατανάλωσης νερού για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας από φυσικό αέριο και πετρέλαιο [21]

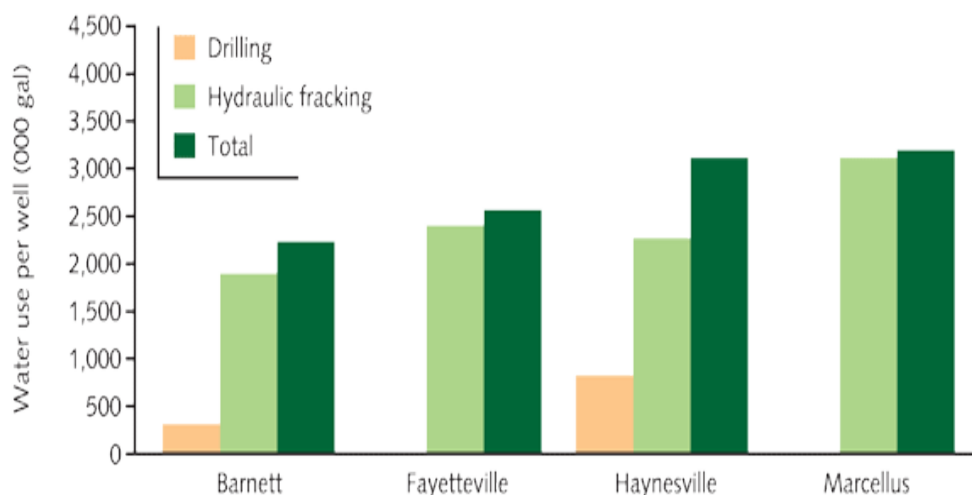
Το νερό που χρησιμοποιείται κατά την υδραυλική ρωγμάτωση μπορεί να προέλθει από πηγές επιφανειακών υδάτων (όπως ποτάμια, λίμνες ή θάλασσες) ή από τοπικές γεωτρήσεις. Η μεταφορά του νερού από τις πηγές του στις τοποθεσίες διάθεσης του είναι μια ευρείας κλίμακας δραστηριότητα. Εάν η υδραυλική ρωγμάτωση ενός φρέατος απαιτεί 15.000 κυβικά μέτρα νερού, η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε 500 φορτηγά, αφού ένα τυπικό φορτηγό μπορεί να μεταφέρει περίπου 30 κυβικά μέτρα. Όμως μια τέτοια μεταφορά υπερφορτώνει τους τοπικούς δρόμους, αυξάνει τη φθορά στους δρόμους και τις γέφυρες και αν δεν διαχειριστεί με ασφάλεια μπορεί να αυξήσει τα τροχαία ατυχήματα.

Σε περιοχές που υπάρχει έλλειψη νερού, η εξαγωγή του για γεωτρήσεις και για τις τεχνικές της υδραυλικής ρωγμάτωσης (ή ακόμα και η παραγωγή νερού, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του μεθανίου από κοιτάσματα γαιάνθρακα) μπορεί να έχει ευρείες και σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μπορεί να μειώσει τον υδροφόρο ορίζοντα και να επηρεάσει τη βιοποικιλότητα και το τοπικό οικοσύστημα. Μπορεί επίσης να μειώσει τη διαθεσιμότητα του νερού για χρήση από τις τοπικές κοινότητες ή σε άλλες παραγωγικές δραστηριότητες, όπως η γεωργία.

Η περιορισμένη διαθεσιμότητα του νερού για την υδραυλική ρωγμάτωση θα μπορούσε να γίνει ένα σημαντικό εμπόδιο για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού και του έγκλειστου αερίου σε ορισμένες περιοχές. Στη Κίνα για παράδειγμα, το κοιτάσμα Tarim είναι ένα από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου της χώρας, αλλά πάσχει από σοβαρή λειψυδρία. Το ίδιο ισχύει και σε άλλες περιοχές της Κίνας που ενώ διαθέτουν κοιτάσματα μη συμβατικού αερίου, δεν υπάρχει ανάπτυξη τους εξαιτίας της έλλειψης νερού. Έτσι, η ανάπτυξη του μη συμβατικού αερίου περιορίζεται στο κοιτάσμα Sichuan επειδή το νερό σε αυτή την περιοχή είναι άφθονο.

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται σύγκριση της ποσότητας νερού που καταναλώνεται σε τέσσερα κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ κατά την διαδικασία της γεώτρησης και κατά την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης.

Figure 1. Comparison of water use in drilling and hydraulic fracturing across four shale plays



Source: Accenture report, *Water and Shale Gas Development, Leveraging the US experience in new shale developments*

Εικόνα 1.10: Σύγκριση κατανάλωσης νερού σε 4 σχιστολιθικά κοιτάσματα στις ΗΠΑ [20]

- **Μόλυνση του νερού**

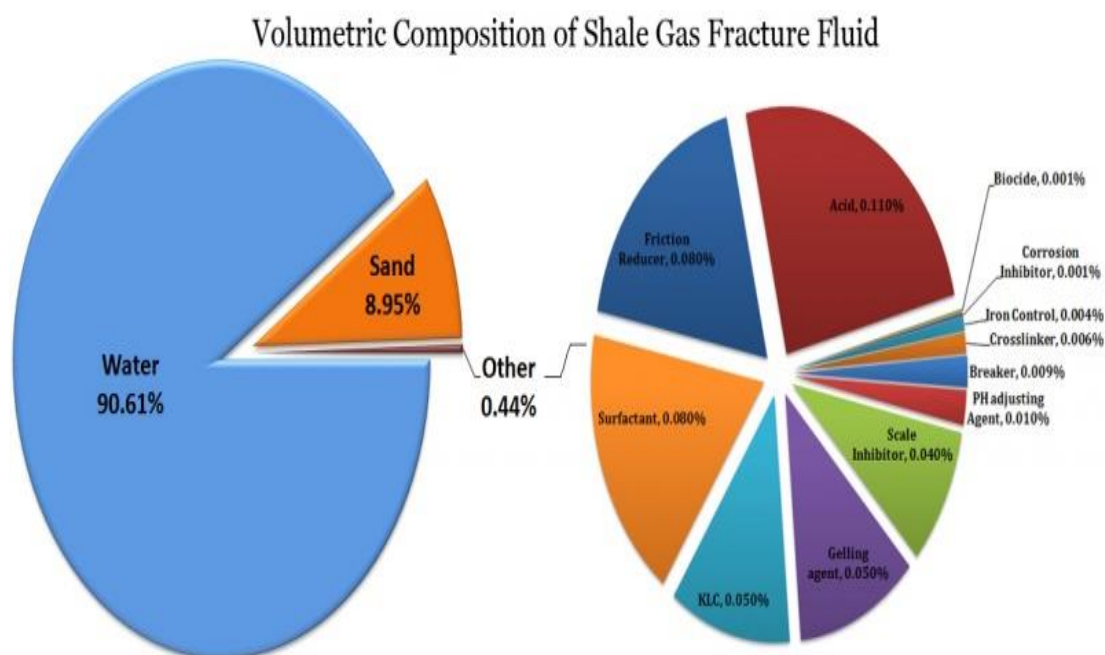
Η μόλυνση του νερού αποτελεί μια άλλη πτυχή τη εκμετάλλευσης μη συμβατικού αερίου που έχει δημιουργήσει σημαντικές αντιδράσεις στις διαδικασίες παραγωγής του. Η μόλυνση αυτή περιλαμβάνει τόσο τα επιφανειακά όσο και τα υπόγεια ύδατα.

Η ενδεχόμενη μόλυνση του νερού μπορεί να προέλθει από τα ακόλουθα:

- Τυχαίες διαρροές υγρών ή στερεών (υγρά γεώτρησης, υγρά ρωγμάτωσης, νερό και παραγόμενο νερό, υδρογονάνθρακες και στερεά απόβλητα) στην επιφάνεια
- Διαρροή υγρών ρωγμάτωσης, υφάλμυρου νερού από τις βαθύτερες ζώνες ή υδρογονανθράκων σε ρηχούς υδροφόρους ορίζοντες εξαιτίας ακατάλληλης τσιμέντωσης των φρεάτων
- Διαρροές υδρογονανθράκων ή χημικών ουσιών από τις παραγόμενες ζώνες σε ρηχά υδροφόρα στρώματα μέσω γεωλογικών δομών, μέσω φυσικών ή τεχνητών ρωγμών ή οδών
- Απόρριψη ανεπαρκώς επεξεργασμένων λυμάτων στα υπόγεια ύδατα.
- Διαρροές αγωγών ή δεξαμενών λυμάτων

Κανένας από αυτούς τους κινδύνους δεν αφορά αποκλειστικά τους πόρους μη συμβατικού αερίου. Αυτοί οι κίνδυνοι επίσης υπάρχουν στην ανάπτυξη των συμβατικών πόρων φυσικού αερίου, με ή χωρίς τη χρήση της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Ωστόσο, η ανάπτυξη των μη συμβατικών πόρων αερίου συμβαίνει σε μια τέτοια κλίμακα που οι κίνδυνοι αυτών των ατυχημάτων αυξάνονται.

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τη σύνθεση του υγρού ρωγμάτωσης που χρησιμοποιείται στην διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης προκειμένου να απελευθερωθεί το αέριο από το πέτρωμα-ταμιευτήρα.



Εικόνα 1.11: Σύνθεση του υγρού ρωγμάτωσης και χρήσεις των χημικών συστατικών του [20]

Η ζημία που ενδέχεται να προκληθεί από την εκμετάλλευση μη συμβατικού αερίου στα αποθέματα νερού μέσω της διαρροής από τα φρέατα μπορεί να αντιμετωπιστεί με την υιοθέτηση βέλτιστων πρακτικών στην εκμετάλλευση και κατασκευή των φρεάτων, ιδιαίτερα στη σωλήνωση, την τσιμεντώση και τη διαχείριση της πίεσης, σε συνδυασμό με τον έλεγχο της πίεσης της τσιμεντωμένης σωλήνωσης, καθώς και υπερσύγχρονες καταγραφές για τη σύνδεση του τσιμέντου στη σωλήνωση προκειμένου να επιβεβαιωθεί η μόνωση της,

- **Σεισμοί**

Η τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης έχει ενοχοποιηθεί για την ενεργοποίηση ρηγμάτων και την πρόκληση σεισμών 1 έως 3 βαθμών της κλίμακας Richter. Στην τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης, τεράστιες ποσότητες νερού, χημικών και άμμου διοχετεύονται υπό υψηλή πίεση μέσα σε πετρώματα, τα οποία θρυμματίζονται απότομα. Ο θρυμματισμός αυτός μπορεί δυνητικά να αποσταθεροποιήσει το υπέδαφος. Επιπλέον το νερό που αποθηκεύεται στα φρεάτια δρα σαν λιπαντικό στη διαδικασία του σεισμού μειώνοντας την τριβή στις σχισμές και τα ρήγματα του υπεδάφους. Η απόρριψη λυμάτων επίσης από την εξόρυξη του μη συμβατικού αερίου μπορεί να συνδέεται με σεισμικές δονήσεις. Οι επιστήμονες αναφέρουν ως παράδειγμα σεισμό μεγέθους 5,3 της κλίμακας Richter, ο οποίος σημειώθηκε τον Αύγουστο του 2011 στο Τρινιντάντ του Κολοράντο. Η δόνηση αποδείχτηκε πως έγινε πολύ κοντά σε δύο φρεάτια, στα οποία διοχετεύονταν λύματα. Η Βρετανική Γεωλογική Υπηρεσία (BGS) επισημαίνει ότι κάθε διαδικασία που διοχετεύει νερό υπό υψηλή πίεση σε βραχώδη πετρώματα προκαλεί τον απότομο θρυμματισμό του πετρώματος και ενδεχομένως προκαλεί σεισμικές δονήσεις. Προσθέτει ότι είναι ευρέως γνωστό ότι η έγχυση νερού ή άλλων υγρών κατά τη διάρκεια διαδικασιών όπως η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου μπορεί να οδηγήσει σε σεισμική δραστηριότητα.

Η υδραυλική ρωγμάτωση μπορεί να προκαλέσει σεισμική δραστηριότητα με δύο τρόπους: η ενέργεια που απελευθερώνεται στη θραύση των πετρωμάτων μπορεί να δημιουργήσει μικροσεισμικά γεγονότα ανιχνεύσιμα μόνο με κάποιο ευαίσθητο εξοπλισμό. Ο δεύτερος τύπος είναι μια πιο αισθητή εκδήλωση δόνησης που μπορεί να γίνει ανιχνεύσιμη από τον άνθρωπο στην επιφάνεια του εδάφους. Για παράδειγμα, στην πολιτεία του Arkansas, στις ΗΠΑ, το ποσοστό μικρών σεισμών έχει δεκαπλασιασθεί τα τελευταία χρόνια [AGS,2011]. Διατυπώθηκαν ανησυχίες ότι οι σεισμοί αυτοί οφείλονταν στην έντονη αύξηση των δραστηριοτήτων γεώτρησης στον σχιστολιθικό σχηματισμό του Fayetteville.

Προκειμένου να μετριαστούν και να ελεγχθούν οι επιπτώσεις των σεισμικών δονήσεων που προκαλούνται κατά την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης θα μπορούσαν να εφαρμοστούν τα ακόλουθα μέτρα:

- Αξιολόγηση των υφιστάμενων γεωλογικών δεδομένων για τον εντοπισμό περιοχών με ιστορικό σεισμικών δονήσεων κατά την υδραυλική ρωγμάτωση και να αποφευχθεί η τοποθέτηση νέων φρεάτων σε αυτές.
- Αξιολόγηση των δυνατοτήτων για τη διεξαγωγή σεισμικών ερευνών.
- Υποβολή, κατά τη φάση της αίτησης για άδεια εξόρυξης, διαθέσιμων στοιχείων σχετικά με την ύπαρξη γνωστών γεωλογικών ρηγμάτων, καθώς και υποβολή σχεδίου για τον έλεγχο κάθε σεισμικής δραστηριότητας που μπορεί να συμβεί.
- Μέτρηση ή υπολογισμός της αρχικής πίεσης εντός των φρεάτων που θα διανοιχτούν.
- Εγκατάσταση ενός συστήματος συνεχούς παρακολούθησης της πίεσης.
- Νέες εγγυήσεις που οδηγούν σε αναστολή των λειτουργιών σε περίπτωση σεισμικής δραστηριότητας.

- **Επιπτώσεις στο τοπίο**

Η εκμετάλλευση κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου απαιτεί εξέδρες γεωτρήσεων για την αποθήκευση του τεχνικού εξοπλισμού, φορτηγά με συμπιεστές, χημικές ουσίες, πρόσθετα διατήρησης ανοικτών ρωγμών, νερό και δεξαμενές λυμάτων. Η εμπειρία στην Βόρεια Αμερική έδειξε ότι υπάρχει σημαντικός κίνδυνος από τις επιπτώσεις της χρήσης μεγάλων εκτάσεων γης για την εξόρυξη του μη συμβατικού αερίου. Οι διάφορες εγκαταστάσεις εδάφους απαιτούν μια έκταση περίπου 3,6 εκτάρια ανά εξέδρα γεώτρησης για μεγάλης κλίμακας υδραυλική ρωγμάτωση σε σύγκριση με τα 1,9 εκτάρια ανά εξέδρα που χρειάζονται στην γεώτρηση συμβατικού αερίου. Στοιχεία δείχνουν ότι ίσως να μην είναι πιθανή η επαναχρησιμοποίηση της γης σε αγροτικές κυρίως περιοχές μετά την ολοκλήρωση των φρεάτων και την εγκατάλειψή τους [21].

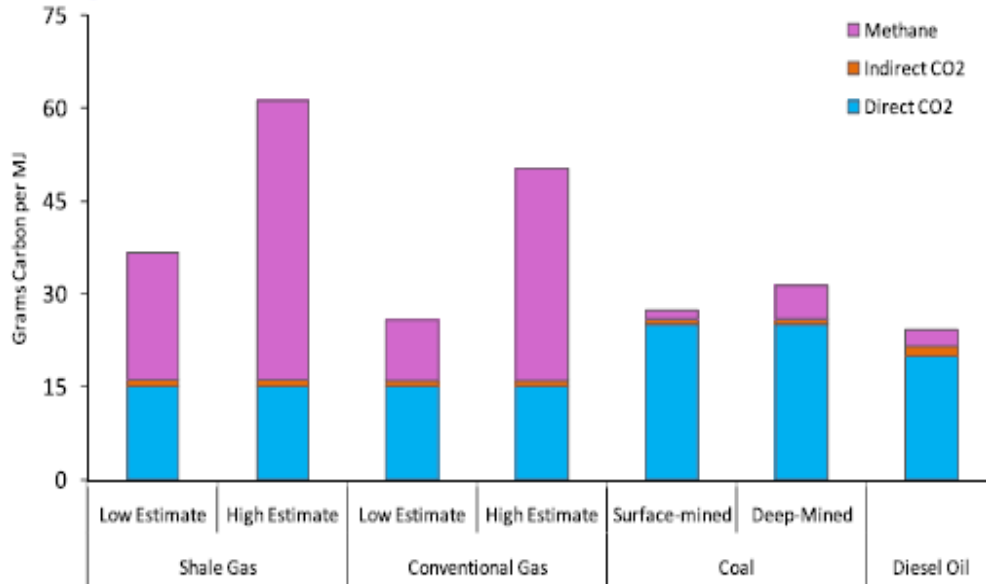
- **Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου**

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την φάση της παραγωγής, μεταφοράς και χρήσης του φυσικού αερίου, καθώς και οι πρόσθετες εκπομπές από την εκμετάλλευση των μη συμβατικών πηγών αερίου έχουν αποτελέσει το αντικείμενο ενός μεγάλου αριθμού μελετών από το 2010 και μετά. Οι εκτιμώμενες επιπτώσεις διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των μελετών.

Ορισμένοι συγγραφείς, τονίζουν ότι οι εκπομπές ρύπων από τη χρήση του φυσικού αερίου ως πηγής πρωτογενούς ενέργειας έχουν υποτιμηθεί σημαντικά, ιδίως μάλιστα αυτές των μη συμβατικών πηγών του. Το κύριο ζήτημα περιστρέφεται γύρω από τις εκπομπές μεθανίου, όχι μόνο κατά τη διάρκεια της παραγωγής, αλλά και κατά τη μεταφορά και χρήση του φυσικού αερίου. Σύμφωνα με την μελέτη που δημοσιεύτηκε το 2011 με συγγραφέα τον Howarth, κατά τη διάρκεια ζωής ενός μέσου φρέατος σχιστολιθικού αερίου, 3,6 έως 7,9% της συνολικής παραγωγής αερίου από το φρέαρ διαφεύγει στην ατμόσφαιρα ως μεθάνιο. Το ποσοστό αυτό είναι τουλάχιστον 30% μεγαλύτερο από τις εκπομπές μεθανίου που έχουν εκτιμηθεί στην περίπτωση συμβατικού φυσικού αερίου. Το μεθάνιο είναι ένα πιο ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα, με μικρότερη διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα. Ο χρόνος ημιζωής του μεθανίου είναι περίπου 15 χρόνια ενώ ο αντίστοιχος του διοξειδίου του άνθρακα είναι πάνω από 150 χρόνια. Έτσι λοιπόν, ο συγγραφέας της μελέτης για να συγκρίνει τις εκλύσεις του μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα χρησιμοποίησε αναλύσεις με ορίζοντα 20 και 100 χρόνων. Η μελέτη αυτή καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από το μη συμβατικό αέριο είναι σίγουρα μεγαλύτερες από εκείνες του συμβατικού φυσικού αερίου και μπορεί να ξεπεράσουν και τις εκπομπές του πετρελαίου ή του άνθρακα (Howarth et al, 2011) [22]. Ωστόσο, η πλειοψηφία των μελετών δείχνει ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από το μη συμβατικό αέριο είναι χαμηλότερες από τον άνθρακα, αλλά περισσότερες από το συμβατικό αέριο.

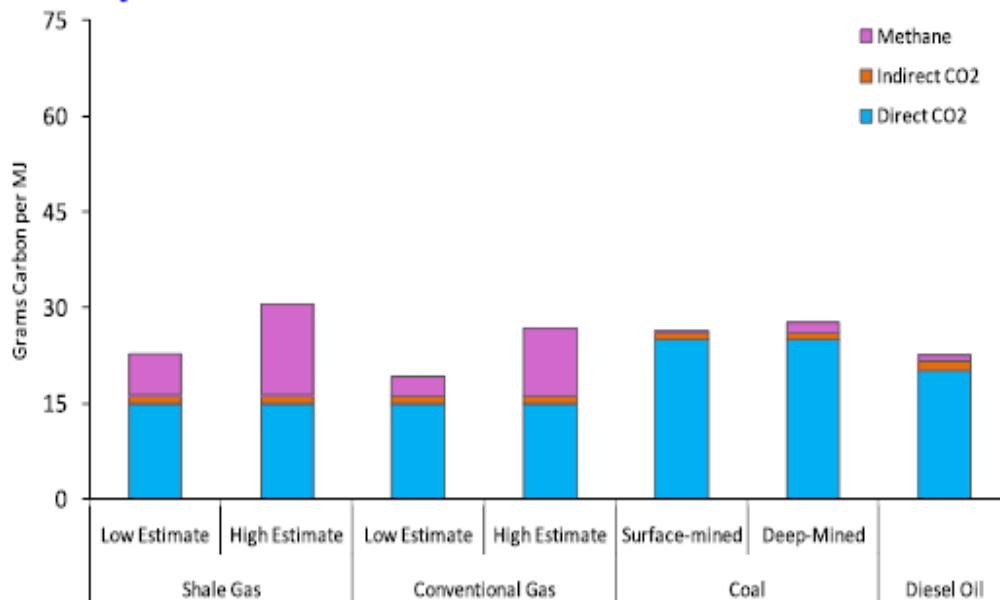
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης του Howarth για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου του σχιστολιθικού αερίου, του συμβατικού αερίου, του άνθρακα και του πετρελαίου.

A. 20-year time horizon



Εικόνα 1.12: Σύγκριση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (CH₄, CO₂) από το σχιστολιθικό αέριο, το συμβατικό αέριο, τον άνθρακα και το πετρέλαιο με ορίζοντα πρόβλεψης τα 20 χρόνια

B. 100-year time horizon



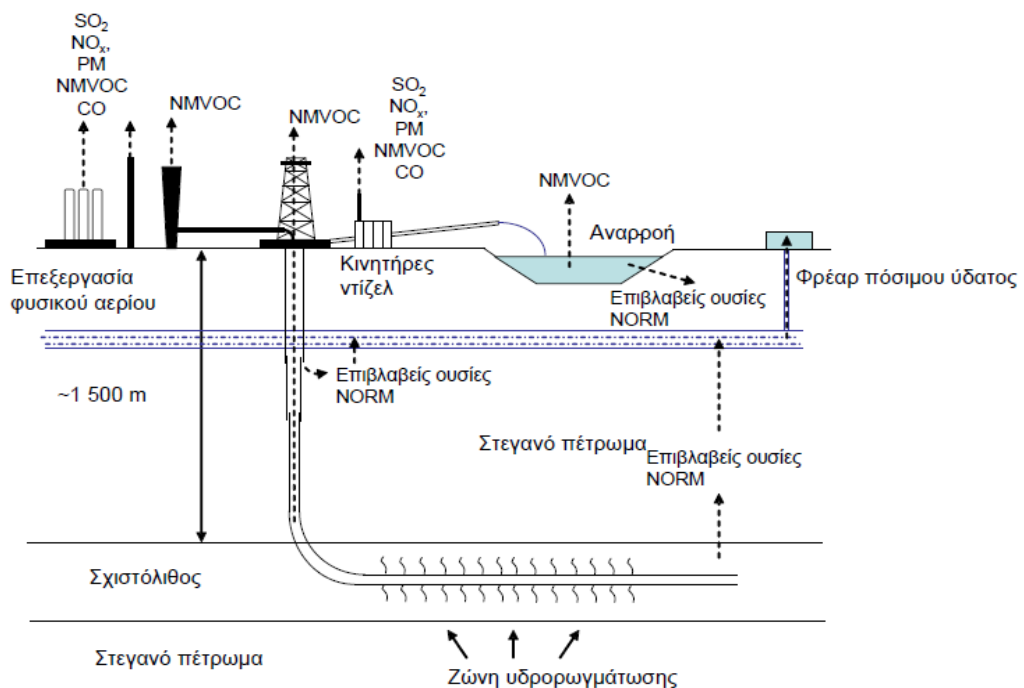
Εικόνα 1.13: Σύγκριση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (CH₄, CO₂) από το σχιστολιθικό αέριο, το συμβατικό αέριο, τον άνθρακα και το πετρέλαιο με ορίζοντα πρόβλεψης τα 100 χρόνια

Οι κύριοι λόγοι διαφορών στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου μεταξύ των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου και των συμβατικών εντοπίζονται στις διαφορετικές διαδικασίες εξόρυξης και παραγωγής τους.

Πιο συγκεκριμένα κατά την παραγωγή μη συμβατικού αερίου:

- Απαιτούνται περισσότερα φρέατα και μεγαλύτερη χρήση της υδραυλικής ρωγμάτωσης ανά κυβικό παραγόμενου αερίου. Οι διαδικασίες αυτές απαιτούν ενέργεια που προέρχεται κυρίως από κινητήρες diesel οδηγώντας σε υψηλότερες εκπομπές ανά μονάδα ωφέλιμης παραγόμενης ενέργειας.
- Πραγματοποιείται περισσότερη εξαέρωση και καύση κατά τη διάρκεια ολοκλήρωσης του φρέατος. Η αναρροή των υγρών της διεργασίας υδραυλικής ρωγμάτωσης αναπαριστά μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής απόληψης ανά φρέαρ.
- Απαιτείται μεταφορά νερού και χημικών ουσιών προκειμένου να χρησιμοποιηθούν κατά την διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης, άρα καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια (π.χ. καύσιμα των φορτηγών που μεταφέρουν το νερό και τις χημικές ουσίες)
- Απαιτείται η απομάκρυνση των χημικών αποβλήτων και των αποβλήτων των υγρών ρωγμάτωσης

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δυνητικές ροές ατμοσφαιρικών ρύπων κατά την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου:

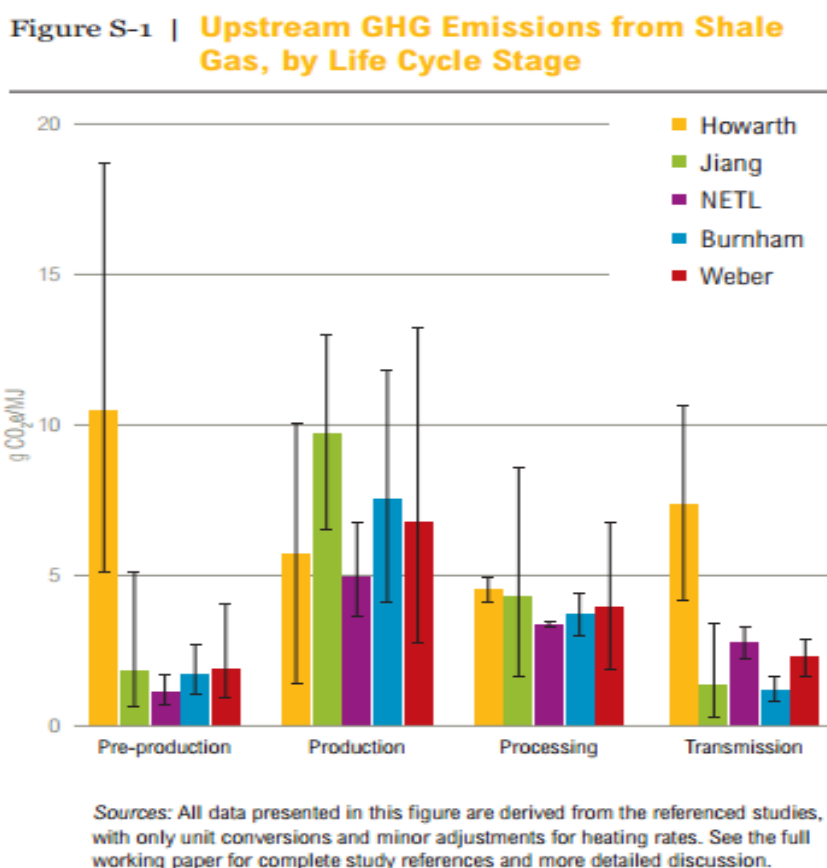


Εικόνα 1.14: Δυνητικές ροές εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων, επιβλαβών ουσιών και φυσικών ραδιενεργών ουσιών.

Οι εκπομπές CO₂ παράγονται κατά τις διεργασίες καύσης σε αεριοστροβίλους, κινητήρες diesel και καυστήρες που απαιτούνται για την έρευνα, την εξόρυξη και την επεξεργασία του μη συμβατικού αερίου. Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε CO₂ του εξορυχθέντος φυσικού αερίου, εκπομπές CO₂ εκτός καύσης μπορούν να παραχθούν επίσης στο στάδιο της επεξεργασίας του φυσικού αερίου. Η περιεκτικότητα σε CO₂ του εξορυχθέντος αερίου μπορεί να ανέρχεται σε 30%, πράγμα που συνεπάγεται ειδικές εκπομπές περίπου 24 g ανά MJ εξορυχθέντος αερίου.

Επιπλέον, εκλύεται μεθάνιο το οποίο έχει δυναμικό συμβολής στην αύξηση της θερμοκρασίας της γης 25 g ισοδύναμου CO₂ ανά gr CH₄. Στο στάδιο έρευνας και ανάπτυξης, παράγονται εκπομπές μεθανίου κατά τη γεώτρηση, κατά την αναρροή των υγρών της διεργασίας υδραυλικής ρωγμάτωσης και κατά τη διάτρηση του καλύμματος μετά τη διεργασία υδραυλικής ρωγμάτωσης. Στο στάδιο εξόρυξης και επεξεργασίας, διαρρέει μεθάνιο από τις βαλβίδες και τους συμπιεστές, κατά την εκφόρτωση υγρών και την επεξεργασία του φυσικού αερίου. Επιπλέον, μεθάνιο μπορεί να εκφεύγει από γεωτρήσεις που έχουν υποστεί ζημιά. Εκτιμάται ότι στις ΗΠΑ περίπου 15 έως 25% των γεωτρήσεων δεν είναι τελείως στεγανές.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την προ-παραγωγή, παραγωγή, επεξεργασία και μεταφορά του σχιστολιθικού αερίου:



Εικόνα 1.15: Εκτιμήσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την προ-παραγωγή, παραγωγή, επεξεργασία και μεταφορά του σχιστολιθικού αερίου

Για γεωλογικούς λοιπόν λόγους, η παραγωγή μη συμβατικού αερίου απαιτεί εντατική γεώτρηση φρεάτων (τουλάχιστον μιας τάξης μεγέθους περισσότερα φρέατα από τα αντίστοιχα για το συμβατικό αέριο) και τη χρήση της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης σε μεγάλη κλίμακα. Δεδομένου ότι οι δραστηριότητες παραγωγής επεκτείνονται με την πάροδο των χρόνων, ο αριθμός των φρεάτων που διανοίγονται αυξάνεται σημαντικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ακόμα και περιορισμένες επιδράσεις της διάνοιξης αυτής στους τοπικούς υδάτινους πόρους και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, θα μπορούσαν να έχουν μεγάλες συνέπειες για την αποδοχή της εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων του μη συμβατικού φυσικού αερίου. Όλες οι εργασίες για την ανάπτυξη τους πρέπει να ακολουθούν με συνέπεια μια σαφή σειρά από καλά διατυπωμένους κανονισμούς και να εφαρμόζουν τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές, προκειμένου να περιοριστούν οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι που ελλοχεύουν.

Οι εταιρίες εξόρυξης μη συμβατικού αερίου οφείλουν να βεβαιώνονται ότι το φρέαρ και ο μη συμβατικός σχηματισμός παραμένει υδραυλικά απομονωμένος από όλα τα άλλα στρώματα που διαπερνώνται από το φρέαρ. Αυτό σημαίνει την εξασφάλιση τόσο της φυσικής ακεραιότητας μεταξύ του φρέατος και των υπόλοιπων στρωμάτων όσο και της έλλειψης ανοικτής επικοινωνίας μεταξύ του μη συμβατικού σχηματισμού και των γύρω στρωμάτων. Προκειμένου να αποφευχθεί η μόλυνση του νερού, τα φρέατα του αερίου και οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί θα πρέπει να παραμένουν υδραυλικά απομονωμένοι από άλλους γεωλογικούς σχηματισμούς, και κυρίως από τους υδροφόρους ορίζοντες. Αυτές οι συνθήκες πρέπει να εξασφαλίζονται τόσο στον σχεδιασμό και την κατασκευή του φρέατος όσο και στην μακροχρόνια διαδικασία παραγωγής για όλη τη διάρκεια χρήσης του φρέατος.

Ακόμα οι εταιρίες θα πρέπει να περιορίσουν την διαφυγή του αερίου. Η διαφυγή μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του μη συμβατικού αερίου και συνιστά μια πηγή αποβλήτων και πρόσθετων αερίων του θερμοκηπίου. Χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο εξοπλισμό, τα υγρά της ρωγμάτωσης που επιστέφουν από το φρέαρ μαζί με το αέριο, μπορούν να διαχωριστούν από το αέριο σε προσωρινές εγκαταστάσεις κατά τη φάση της ολοκλήρωσης. Το διαχωρισθέν αέριο μπορεί να τροφοδοτηθεί σε ένα σύστημα συλλογής ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Εναλλακτικά, εάν το αέριο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, η ανάφλεξη είναι προτιμότερη από την διαφυγή.

Απαραίτητη επίσης κρίνεται η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ύδατος. Βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα της χρήσης του νερού κατά τη διαδικασία της εξόρυξης μέσω της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης του μειώνεται η επιβάρυνση των τοπικών υδάτινων πόρων. Δεδομένου ότι μέρος του υγρού της ρωγμάτωσης που εγχέεται στα φρεάτια επιστρέφει στην επιφάνεια μολυσμένο με ουσίες που έχουν διαφύγει από τα πετρώματα, η ελαχιστοποίηση της χρήσης ύδατος μειώνει τις ανάγκες διαχείρισης των αποβλήτων.

Λόγω του μεγάλου όγκου νερού που εμπλέκεται στη διαδικασία άντλησης του μη συμβατικού αερίου, η επιβολή και η εφαρμογή αυστηρών κανονισμών που απαιτούν την κατάλληλη επεξεργασία πριν τη διάθεση του νερού κρίνεται ως το πιο αποτελεσματικό μέσο για τον περιορισμό της μόλυνσης του νερού. Επίσης η πλήρης αποκάλυψη των χημικών που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωση θα βοηθούσε ιδιαίτερα στην συζήτηση σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης του μη συμβατικού αερίου.

Η επιτυχής εφαρμογή των παραπάνω πρακτικών απαιτεί ένα συνδυασμό αποτελεσματικής νομοθεσίας, επιχειρησιακής ικανότητας και ανάπτυξης και υιοθέτησης ορισμένων νέων τεχνολογιών. Όλα αυτά συνοδεύονται με μια αύξηση του κόστους παραγωγής μη συμβατικού αερίου, ωστόσο η εφαρμογή αυτών των βέλτιστων πρακτικών μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη παραγωγή μη συμβατικού αερίου και ως εκ τούτου σε περισσότερα έσοδα στις εταιρίες που δραστηριοποιούνται σε αυτό τον τομέα και σε ελαχιστοποίηση όλων των αρνητικών περιβαλλοντικών συνεπειών.

1.3.9. Κόστη παραγωγής των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου

Το κόστος παραγωγής των φρεάτων μη συμβατικού φυσικού αερίου, και ιδίως το επίπεδο του κόστους σε σχέση με τις τιμές της αγοράς, αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα που καθορίζει τον βαθμό της μελλοντικής εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου παγκοσμίως. Ωστόσο, τα δεδομένα σχετικά με το κόστος παραγωγής μη συμβατικού αερίου ανά φρέαρ είναι περιορισμένα. Αυτό που προκύπτει από την βιβλιογραφία είναι ότι το κόστος παραγωγής μη συμβατικού αερίου ανά φρέαρ στις Ηνωμένες Πολιτείες τείνει να κυμαίνεται ανάμεσα σε \$2 με \$9 εκατομμύρια. Αντίθετα, στην Ευρώπη που η εμπειρία σχετικά με την παραγωγή μη συμβατικού αερίου είναι μηδενική, οι αντίστοιχες εκτιμήσεις κυμαίνονται ανάμεσα σε \$5 με \$20 εκατομμύρια.

Το εύρος του κόστους παραγωγής του μη συμβατικού αερίου επηρεάζεται από έναν αριθμό φυσικών και εμπορικών παραγόντων. Οι πρώτοι περιλαμβάνουν παράγοντες όπως τα γεωλογικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος υπό εξερεύνηση (βάθος, διαπερατότητα, συνολική περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα), τον αριθμό των σταδίων γεώτρησης του φρέατος και τον αριθμό των ημερών που απαιτείται για την γεώτρηση του. Οι αποφάσεις σχετικά με τα προγράμματα γεωτρήσεων βασίζονται σε εκτιμήσεις των πιθανών, δυνητικών και αποδεδειγμένων αποθεμάτων ενώ ακολουθούν διάφορες δοκιμαστικές γεωτρήσεις. Οι εμπορικοί παράγοντες, από την άλλη πλευρά, περιλαμβάνουν τους φόρους, τα ποσοστά των δικαιωμάτων και το κόστος των υπηρεσιών και των υλικών για τις γεωτρήσεις και την οικοδόμηση της υποστηρικτικής υποδομής για την συλλογή, επεξεργασία και συμπίεση του παραγόμενου αερίου. Κατά τη διάρκεια του παραγωγικού σταδίου, οι δείκτες απόδοσης του φρέατος όπως ο δείκτης αρχικής παραγωγής, η εκτιμώμενη τελική ανακτησιμότητα του αερίου από το φρέαρ, ο λόγος αποθεμάτων προς παραγωγή και η

καμπύλη μείωσης της παραγωγής, όλα επηρεάζουν την καθαρή παρούσα αξία του πηγαδιού (όπως και τον βαθμό απόδοσης της επένδυσης για την εξορυκτική εταιρία).

Υπάρχουν διάφοροι έμμεσοι παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά το κόστος και άρα την ανταγωνιστικότητα των φρεάτων μη συμβατικού αερίου, είτε θετικά είτε αρνητικά. Ένας τέτοιος παράγοντας για παράδειγμα είναι το κόστος του νερού. Σύμφωνα με στοιχεία της συμβουλευτικής εταιρίας Accenture [20], ένα φρέαρ σχιστολιθικού αερίου συνήθως απαιτεί 8–23 εκατομμύρια λίτρα νερού. Το εύρος του κόστους νερού κυμαίνεται στις Ηνωμένες Πολιτείες για παράδειγμα ανάμεσα στα \$0,24/Mbtu και \$1,35/MBtu. Το μεγάλο αυτό εύρος αντικατοπτρίζει την αβεβαιότητα σχετικά με τις ποσότητες νερού όπως και της κατάλληλης από πλευράς στρατηγικής χρήσης του. Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ενέργειας, το αυξανόμενο κόστος της διάθεσης του νερού που χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης καθώς και ο καθαρισμός του από τα χημικά μπορεί να εκτοξεύσουν το κόστος σε \$5,9 με \$7,8 ανά Mbtu. Άλλα τέτοια ζητήματα που σχετίζονται με το κόστος παραγωγής περιλαμβάνουν: αλλαγές στις φορολογικές εκπτώσεις στα μη συμβατικά καύσιμα, περιβαλλοντικά θέματα που περιορίζουν τις πρακτικές γεώτρησεων στο υπέδαφος καθώς και στην πρόσβαση σε εκτάσεις γης για διαδικασίες γεώτρησης και ολοκλήρωσης φρέατος, έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού, μικρή διαθεσιμότητα γης για γεωτρήσεις. Όλα αυτά τα ζητήματα μπορεί να αυξήσουν το βασικό κόστος και να αποτελέσουν πρόκληση για την οικονομική βιωσιμότητα των έργων εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου. Αυτός είναι και ο λόγος που το εύρος του κόστους παραγωγής μη συμβατικού αερίου είναι τόσο μεγάλο (μεγάλη αβεβαιότητα).

Το κόστος της ανάπτυξης ενός φρέατος μη συμβατικού αερίου περιλαμβάνει το κόστος εύρεσης και ανάπτυξης και τις λειτουργικές δαπάνες μίσθωσης. Αυτές οι γενικές κατηγορίες μπορεί να διαιρεθούν σε υποκατηγορίες. Σύμφωνα με την συμβουλευτική εταιρία IHS CERA, τα έξοδα κεφαλαίου που αποτελούν κομμάτι του κόστους εύρεσης και ανάπτυξης ενός φρέατος μπορούν να διαιρεθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες – κόστος γεώτρησης, (40%), κόστος ολοκλήρωσης φρέατος (περιλαμβάνει το κόστος της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης), (50%) και το κόστος των εγκαταστάσεων, (10%).

Το κόστος παραγωγής του μη συμβατικού αερίου θα πρέπει να αξιολογηθεί σε σχέση με τις τιμές του φυσικού αερίου, προκειμένου να διαπιστωθεί αν η εξόρυξη των αποθέματων είναι οικονομικά βιώσιμη. Ωστόσο, οι εκτιμήσεις της τιμής που εξισώνει το κόστος παραγωγής του μη συμβατικού αερίου με τα έσοδα ποικίλλει και υπόκεινται σε μεγάλη αμφισβήτηση. Το 2008, ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας σύγκλινε σε ένα εύρος τιμών φυσικού αερίου \$6-\$8 ανά Mbtu [23] για να είναι οικονομικά απολήψιμο το μη συμβατικό αέριο. Από τότε, αυτό το εύρος σταδιακά μειώνεται. Το 2010 ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας εκτίμησε ένα εύρος ανάμεσα σε \$3-\$7 ανά Mbtu για τις Ηνωμένες Πολιτείες [24]. Αντίθετα, σύμφωνα με μελέτη του Ινστιτούτου της Οξφόρδης για ενεργειακές σπουδές, το εύρος στην Ευρώπη κυμαίνεται ανάμεσα σε \$8-\$12 ανά Mbtu [25]. Οι υποθέσεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας όσον αφορά το κόστος παραγωγής μη συμβατικού αερίου περιορίζονται στο κόστος εύρεσης και ανάπτυξης, τις λειτουργικές δαπάνες και το κόστος παροπλισμού. Ωστόσο, ούτε το κόστος μεταφοράς, ούτε το κόστος παραγωγής των υγρών λήφθηκαν υπόψιν, παρ'ότι και αυτά θεωρούνται σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα οικονομικά της εμπορικής εκμετάλλευσης του μη συμβατικού αερίου.

1.3.10. Εμπόδια στην ανάπτυξη των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου

Με τόσο μεγάλες ποσότητες κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου που έχουν ήδη ανακαλυφθεί και με νέες να προστίθενται με την πάροδο του χρόνου, η ευρεία χρήση του φυσικού αερίου σε παγκόσμιο επίπεδο προβλέπεται να αυξηθεί, ιδιαίτερα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [18]. Βραχυπρόθεσμα, το φυσικό αέριο, ως καθαρότερο καύσιμο σε σύγκριση με τον άνθρακα και το πετρέλαιο, θα αυξήσει το μερίδιό του στο ενεργειακό μείγμα ανταποκρινόμενο στις παγκόσμιες κλιματικές πολιτικές για περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (επίσης έχει μεγαλύτερη απόδοση στην καύση του σε σχέση με τον άνθρακα και το πετρέλαιο άρα μειώνει την συνολική ζήτηση ενέργειας). Ωστόσο σε μακροπρόθεσμο επίπεδο, η κάλυψη των στόχων αυτών των κλιματικών πολιτικών θα οδηγήσει στην μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, εκτός αν οι τεχνολογικές εξελίξεις στην δέσμευση και αποθήκευση του CO₂ γίνουν πιο αποτελεσματικές. Επομένως εγείρονται ερωτηματικά σχετικά με την μελλοντική ανάπτυξη των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου. Παρά την αφθονία τους και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν, ένας αριθμός παραγόντων θα μπορούσε να επηρεάσει την μελλοντική βιωσιμότητά τους. Παρακάτω παρουσιάζονται πέντε εμπόδια.

- **Αυξομειώσεις των τιμών φυσικού αερίου**

Η εξερεύνηση, η ανάπτυξη και τελικά η εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος μη συμβατικού αερίου απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα. Έτσι, μπορεί να χρειάζονται χρόνια ώστε οι πραγματοποιηθείσες επενδύσεις να αρχίσουν να είναι αποδοτικές. Εάν λοιπόν οι τιμές φυσικού αερίου κινούνται ανοδικά ή καθοδικά κατά τη διάρκεια της εκτεταμένης αυτής περιόδου, δημιουργούνται τεράστιες δυνατότητες για κέρδη αλλά και σημαντικοί χρηματοοικονομικοί κίνδυνοι.

Παρά την μεταβλητότητα των τιμών φυσικού αερίου σε ορισμένες αγορές, μερικές παραδοσιακές εταιρείες πετρελαίου και φυσικού αερίου καθώς και νέοι παίκτες της αγοράς συνεχίζουν να επενδύουν στην ανάπτυξη των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου με την πεποίθηση ότι η σημερινή υπερπροσφορά δεν θα διαρκέσει πολύ και οι τιμές τελικά θα αυξηθούν. Ως αποτέλεσμα, οι μικρότεροι παραγωγοί διατρέχουν τον κίνδυνο να γίνουν στόχοι εξαγοράς σε πολύ χαμηλή τιμή.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι τιμές φυσικού αερίου προβλέπεται να μειωθούν στα 3,12\$/Mbtu το 2015 [EIA, 2013]. Σύμφωνα όμως με εκτιμήσεις, η τιμή του φυσικού αερίου θα πρέπει να ανέρχεται στα \$3-\$7/Mbtu προκειμένου να ανακτηθεί το πλήρες κόστος εξόρυξης του μη συμβατικού αερίου [Ben Dell, Bernstein Research]. Οι επενδύσεις εξόρυξης του μη συμβατικού αερίου απαιτούν τεράστια κεφάλαια. Επιπλέον, η περιορισμένη διαθεσιμότητα των υποδομών αναμένεται να ωθήσει το κόστος ακόμα υψηλότερα.

Τα αποθέματα μη συμβατικού αερίου σε ένα φρέαρ τείνουν να μειώνονται πιο γρήγορα από αυτά του συμβατικού αερίου. Επομένως, οι παραγωγοί μπορεί να χρειαστούν να καταφύγουν στην πραγματοποίηση κέρδους σε πολύ σύντομο διάστημα

- **Υποστήριξη από τις κυβερνήσεις των χωρών**

Προκειμένου να καταστούν οι πηγές μη συμβατικού αερίου ως μια κερδοφόρα εναλλακτική πηγή ενέργειας, απαιτούνται σημαντικές επενδύσεις στους τομείς των τεχνολογιών, του εξοπλισμού και των υποδομών. Οι ιδιωτικές εταιρίες δεν μπορούν να αναπτύξουν μια πλήρους κλίμακας βιομηχανία μη συμβατικού αερίου χωρίς την υποστήριξη των τοπικών κυβερνήσεων. Χρειάζεται λοιπόν αυτές να στηρίζουν τις εταιρίες με ένα συνδυασμό άμεσων οικονομικών ενισχύσεων, με επενδύσεις στις υποδομές του οδικού δικτύου, καθώς και με τη σύνταξη ενός ευνοϊκού κανονιστικού και φορολογικού περιβάλλοντος. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη την τρέχουσα οικονομική συγκυρία, είναι αβέβαιο εάν οι κυβερνήσεις είναι πρόθυμες να δεσμευτούν για τέτοιες μεγάλο μεγέθους (και σχετικά μεγάλης αβεβαιότητας) επενδύσεις.

- **Δαπανηρές κανονιστικές ρυθμίσεις**

Η αλλαγή του κλίματος και τα θέματα μελλοντικής αειφορίας έχουν ισχυρή επίδραση στον τρόπο με τον οποίο οι εταιρίες επενδύουν στον τομέα της ενέργειας. Έτσι, μια εστίαση του κλάδου ενέργειας στην ανάπτυξη των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου θα μπορούσε να μειώσει τις επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η αύξηση της προσφοράς φυσικού αερίου οδηγεί σε μείωση των τιμών του και ελλοχεύει ο κίνδυνος να διαταραχτεί η οικονομική βιωσιμότητα των έργων της αιολικής, ηλιακής και γεωθερμικής ενέργειας. Επομένως, μια αύξηση των επενδύσεων σε μη συμβατικές πηγές φυσικού αερίου, θα μπορούσε να καθυστερήσει την στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για πολλά χρόνια. Τα ορυκτά καύσιμα καλύπτουν ένα σημαντικό τμήμα των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών. Όσο όμως οι τιμές του φυσικού αερίου παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα, τόσο τα κίνητρα για επενδύσεις στην πράσινη ενέργεια θα είναι λιγότερα. Για να καλύψουν οι κυβερνήσεις τους στόχους μείωσης των εκπομπών CO₂, υπάρχει κίνδυνος αυτές να υποχρεώσουν τη βιομηχανία ενέργειας να στραφεί σε επενδύσεις στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέσω ειδικών νομοθετικών και οικονομικών ρυθμίσεων. Κάτι τέτοιο ωστόσο, θα μπορούσε να αυξήσει το κόστος σε όλη την βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, με μεγαλύτερη επίδραση στην ευαίσθητη από πλευράς κόστους ανάπτυξη του μη συμβατικού αερίου.

- **Διαχείριση κόστους και κίνδυνοι χρηματοδότησης**

Εξαιτίας της αβεβαιότητας των τιμών φυσικού αερίου, η διαχείριση κόστους και η μείωση των κινδύνων χρηματοδότησης αποτελούν κορυφαίες προτεραιότητες. Επίσης οι δύο αυτοί κίνδυνοι οδηγούν και στον κίνδυνο οι εταιρίες που μπαίνουν πιο πρόσφατα στην παραγωγή μη συμβατικού αερίου να πρέπει να επιβιώσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα προτού έχουν κάποιο κέρδος. Την ίδια στιγμή, το κόστος για τους παραγωγούς μη συμβατικού αερίου συνεχίζει να πολλαπλασιάζεται. Έτσι, οι εταιρίες του κλάδου πρέπει να μειώσουν το κόστος των προμηθειών και να επενδύσουν στην παραγωγικότητα και την τεχνολογία. Επίσης, θα πρέπει να διαχειριστούν τα φορολογικά κόστη, που περιλαμβάνουν πολύπλοκους έμμεσους φόρους και αυξανόμενους φόρους εξόρυξης αποθεμάτων. Επιπλέον, περισσότερες δαπάνες θα προκύψουν από την ανάγκη να συμμορφωθούν οι εταιρίες στις κλιματικές πολιτικές περιορισμού των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου καθώς και τις απαιτήσεις συμμετοχής σε συστήματα εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας σε ορισμένες περιοχές.

Για να διατηρήσουν την οικονομική τους βιωσιμότητα, οι εταιρίες αυτές πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικές στις μελλοντικές τους ανάγκες και στις δυνατότητες χρηματοδότησης τους καθώς επίσης στην εκτίμηση του κινδύνου ρευστότητας.

- **Δημόσια Αποδοχή**

Η αρνητική κοινή γνώμη σχετικά με την περιβαλλοντική ασφάλεια της διαδικασίας της υδραυλικής ρωγμάτωσης θα μπορούσε να υπονομεύσει την ανάπτυξη αυτού του κλάδου, ιδίως όταν η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Στην πραγματικότητα, η διαδικασία αυτή έχει ήδη απαγορευθεί στη Γαλλία, στη Βουλγαρία και σε ορισμένες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών. Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες λοιπόν αποτελούν την μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζει η ανάπτυξη των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου. Χρειάζεται λοιπόν οι παραγωγοί μη συμβατικού αερίου να αποδείξουν ότι κατανοούν πλήρως τη γεωλογία των σχηματισμών και τις επιπτώσεις της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Όπως απέδειξε η πυρηνική καταστροφή στην Ιαπωνία το 2011, όταν η προστασία του περιβάλλοντος και η ανθρώπινη ασφάλεια πλήττονται, αμαυρώνεται το σύνολο του κλάδου και επιβάλλονται αυστηρότερες ρυθμίσεις. Όλες λοιπόν οι εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον κλάδο του μη συμβατικού αερίου χρειάζεται να υιοθετήσουν πρακτικές που οδηγούν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, στη διατήρηση της φήμης του ώστε να αποφεύγονται αυστηρότερες ρυθμίσεις που θα μπορούσαν να εμποδίσουν την ανάπτυξη του κλάδου. Για παράδειγμα με δεσμεύσεις περί ασφαλούς σχεδιασμού των φρεάτων γεώτρησης και λειτουργίας, προστασίας των υπόγειων υδάτων και μείωσης της χρήσης του νερού οι παραγωγοί μη συμβατικού αερίου θα ήταν σε θέση να αποφύγουν στο μέλλον περιβαλλοντικές και κοινωνικές διαμαρτυρίες και πιο αυστηρές ρυθμίσεις για ολόκληρο τον κλάδο.

- **Γεωπολιτικοί Κίνδυνοι**

Η ανάπτυξη του μη συμβατικού αερίου είναι βέβαιο ότι θα έχει σημαντικές και απρόβλεπτες στρατηγικές επιπτώσεις στην γεωπολιτική και την ενεργειακή βιομηχανία. Για παράδειγμα, η ανάπτυξη της παραγωγής του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη θα μπορούσε να συμβάλλει στη μείωση της ευρωπαϊκής εξάρτησης από το ρωσικό φυσικό αέριο. Με τη σειρά της, η Ρωσία, θα πρέπει να αναζητήσει νέες αγορές προκειμένου να εξάγει φυσικό αέριο. Όμως η Ρωσία θα μπορούσε να προσπαθήσει να ασκήσει πολιτική και οικονομική πίεση για να διατηρήσει την πρόσβαση της στις υπάρχουσες αγορές. Ήδη Ρώσοι πολιτικοί εγείρουν ερωτήματα στις ευρωπαϊκές συζητήσεις σχετικά με την περιβαλλοντική ασφάλεια της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου. Με σχεδόν το 25% του φυσικού αερίου που ρέει στην Ευρώπη να προέρχεται από την Ρωσία μέσω της Ουκρανίας, η Ρωσία θα μπορούσε να επιδιώξει την ματαίωση της μελλοντικής παραγωγής σχιστολιθικού αερίου σε χώρες όπως η Πολωνία, απειλώντας να διακόψει τις τρέχουσες προμήθειες φυσικού αερίου.

Επίσης, χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Κίνα παραδοσιακά εξαρτώνται από τις εισαγωγές καυσίμων από πολιτικά ευαίσθητες περιοχές, περιορίζοντας έτσι τις επιλογές που έχουν στην άσκηση εξωτερικής πολιτικής. Η ανάπτυξη των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου θα μπορούσε να βοηθήσει τις χώρες αυτές να αποκτήσουν ασφάλεια ως προς τον ενεργειακό εφοδιασμό τους. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να αλλάξει δραματικά τις σχέσεις τους με τα άλλα κράτη. Από την άλλη πλευρά, εξαγωγικές χώρες όπως ο Καναδάς, βλέποντας τις Ηνωμένες πολιτείες που μέχρι τώρα ήταν ο μεγαλύτερος πελάτης του να γίνεται ένας ανταγωνιστικός προμηθευτής φυσικού αερίου, χρειάζεται να κάνει τεράστιες επενδύσεις σε υποδομές για τη δημιουργία νέων διεξόδων για το πλεόνασμα του φυσικού αερίου που διαθέτει (π.χ. κατασκευή σταθμών υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) για εξαγωγές).

Τέλος, η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου από λιγότερο αναπτυγμένες και πολιτικά ευαίσθητες χώρες όπως η Λιβύη και η Μογγολία, θα μπορούσε να αποτελέσει το έναυσμα για μια σειρά νέων γεωπολιτικών προκλήσεων και κινδύνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Το Μοντέλο ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ

2.1. Γενικά χαρακτηριστικά

Το μοντέλο ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ αναπτύχθηκε στο εργαστήριο E3MLab του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και αποτελεί ένα εργαλείο για την παραγωγή στοχαστικών πληροφοριών για βασικές μεταβλητές του ενεργειακού συστήματος, του περιβάλλοντος και της τεχνολογίας.

Το μοντέλο ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ είναι ένα αυτόνομο ενεργειακό μοντέλο που αποτελείται από ένα σύνολο στοχαστικών εξισώσεων. Καλύπτει τους τομείς της ενεργειακής προσφοράς και ζήτησης και εκτελεί προβλέψεις για το ενεργειακό σύστημα μέχρι το 2050. Περιέχει σχέσεις και εξωγενείς μεταβλητές για όλες τις βασικές ποσότητες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον στο πλαίσιο της ανάλυσης των γενικών ενεργειακών συστημάτων καθώς και των δυναμικών της τεχνολογικής προόδου όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, τις μεταφορές, την παραγωγή ηλεκτρισμού και τη χρήση ενεργειακών τεχνολογιών. Οι κύριες μεταβλητές του μοντέλου περιλαμβάνουν δημογραφικούς δείκτες και δείκτες οικονομικής δραστηριότητας, ενεργειακή κατανάλωση κατά κύριο καύσιμο, πόρους και τιμές καυσίμων, εκπομπές CO₂, συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου, αλλαγή της θερμοκρασίας και ενδογενή τεχνολογική πρόοδο για όλες τις ενεργειακές τεχνολογίες. Όλες οι εξωγενείς μεταβλητές, οι παράμετροι και οι όροι σφάλματος του μοντέλου είναι στοχαστικές με πλήρη αναπαράσταση της κατανομής τους περιλαμβάνοντας σε πολλές περιπτώσεις και όρους συνδιακύμανσης. Προκύπτει επομένως ότι και όλες οι ενδογενείς μεταβλητές είναι επίσης στοχαστικές.

2.2. Έξοδος του μοντέλου

Η βασική έξοδος του μοντέλου ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ είναι ένα σύνολο δεδομένων που προκύπτουν από προσομοιώσεις Monte Carlo και περιέχουν τιμές για όλες τις μεταβλητές του μοντέλου.

Το σύνολο αυτό των δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί στρατηγικά ή αναλυτικά ως σημαντική πληροφορία σε κινδύνους και πιθανότητες, όσον αφορά τις μεταβλητές που περικλείονται σε αυτό ή οποιασδήποτε προκαθορισμένης συνάρτησης που τις περιέχει. Κύριες εφαρμογές θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν εκτιμήσεις της ασφάλειας του εφοδιασμού, εκτιμήσεις των περιβαλλοντικών κινδύνων ή αναλύσεις των επενδυτικών κινδύνων.

2.3.Χαρακτηριστικά του μοντέλου

Ο ορίζοντας πρόβλεψης του μοντέλου είναι η περίοδος 2008-2050. Ωστόσο, για το 2008 έχουν χρησιμοποιηθεί πραγματικά δεδομένα ή επίσημες εκτιμήσεις όπου αυτές είναι διαθέσιμες από τις διάφορες πηγές δεδομένων.

Στο μοντέλο, οι χώρες του κόσμου ομαδοποιούνται στις εξής μεγάλες περιοχές του ΠΡΟΜΗΘΕΑ σύμφωνα με τα οικονομικά τους χαρακτηριστικά:

1. ΟΟΣΑ-Ευρώπη, που περιλαμβάνει ΕΕ-15, τη Νορβηγία και την Ελβετία
2. ΝΜΣ-12, τα νέα μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Τσεχία, Σλοβακία, Σλοβενία, Μάλτα, Κύπρος, Ουγγαρία, Λιθουανία, Εσθονία, Βουλγαρία και Ρουμανία)
3. Βόρεια Αμερική, που περιλαμβάνει τις ΗΠΑ και τον Καναδά
4. Δυτικός Ειρηνικός, που περιλαμβάνει την Ιαπωνία, την Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία
5. Ινδία
6. Κίνα
7. Πρώην Σοβιετική Ένωση εκτός από τις χώρες της Βαλτικής
8. Μέση Ανατολή (από τη Μεσόγειο μέχρι τα σύνορα του Ιράν με το Αφγανιστάν και το Πακιστάν) και Βόρεια Αφρική (Αίγυπτος, Λιβύη, Τυνησία, Αλγερία, Μαρόκο)
9. Αναδυόμενες οικονομίες, που περιλαμβάνουν τη Λατινική Αμερική και τη Νοτιοανατολική Ασία
10. Υπόλοιπο κόσμος, που περιλαμβάνει τις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες

Το μοντέλο ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ χωρίζεται σε υπο-μοντέλα, τα οποία αλληλεπιδρούν με χρονική καθυστέρηση στις κοινές τους μεταβλητές προκειμένου να αποφευχθεί η μεροληψία ταυτόχρονου προσδιορισμού στις εξισώσεις του μοντέλου. Τα υπο-μοντέλα είναι:

- Το υπο-μοντέλο της δημογραφικής και οικονομικής δραστηριότητας, που προβλέπει τον πληθυσμό, το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ) και τα πραγματικά επιτόκια.
- Το υπο-μοντέλο της προμήθειας ορυκτών καυσίμων:
 - Πόροι καυσίμων
 - Ακαθάριστες προσθήκες στα αποθέματα
 - Αποθέματα
 - Παραγωγή
 - Καμπύλες κόστους-προμήθειας για τη βιομάζα και το ουράνιο

- Το υπο-μοντέλο των τιμών των καυσίμων, που προβλέπει τις διεθνείς τιμές και τις τιμές καταναλωτή, με τις τελευταίες να διαφοροποιούνται σε κάθε τομέα της ζήτησης.
- Το υπο-μοντέλο της τελικής ενεργειακής ζήτησης, που προβλέπει τη ζήτηση στους παρακάτω τομείς κατανάλωσης:
 - Βιομηχανία (μη ηλεκτρικές καταναλώσεις)
 - Βιομηχανία (ηλεκτρικές καταναλώσεις)
 - Μεταφορές
 - Οικιακός/Εμπορικός/Άλλος (μη ηλεκτρικές καταναλώσεις)
 - Οικιακός/Εμπορικός/Άλλος (ηλεκτρικές καταναλώσεις)

Οι ακόλουθες μορφές καυσίμων/ενέργειας θεωρούνται ως επιλογές των τομέων τελικής ζήτησης:

- Άνθρακας
- Πετρέλαιο
- Βιοκαύσιμα
- Φυσικό αέριο
- Ηλεκτρισμός
- Υδρογόνο

Ο τομέας των ιδιωτικών επιβατικών αυτοκινήτων μοντελοποιείται λεπτομερώς, διακρίνοντας τους ακόλουθους τύπους επιβατικών αυτοκινήτων:

- Αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσεως (βενζίνη, πετρέλαιο, υδρογόνο, βιοκαύσιμα)
- Κυψέλες καυσίμου (υδρογόνου και αναμόρφωσης αερίου)
- Ηλεκτρικά αυτοκίνητα (αμιγώς ηλεκτρικά, συμβατικά υβριδικά, υβριδικά με δυνατότητα φόρτισης)

Το μοντέλο είναι εξοπλισμένο με ένα μηχανισμό αποφάσεων, προκειμένου να προσομοιώνει τις επιπτώσεις του κοινωνικού δικτύου και του δικτύου υποδομών στις αποφάσεις των καταναλωτών.

- Το υπο-μοντέλο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που προσδιορίζει αναλυτικά περισσότερες από 26 τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας και περιλαμβάνει επίσης τις ανανεώσιμες πηγές, τις οικονομικές δυνατότητες και την αντικατάσταση του εξοπλισμού πριν την ωρίμανσή του.
- Το υπο-μοντέλο παραγωγής υδρογόνου, που προσδιορίζει αναλυτικά περισσότερες από 10 επιλογές παραγωγής υδρογόνου.
- Το υπο-μοντέλο αποθήκευσης και υποδομών μεταφοράς του υδρογόνου.
- Το υπο-μοντέλο κλίματος, το οποίο χρησιμοποιεί ανηγμένες μορφές ατμοσφαιρικών δυναμικών, ακολουθώντας την Τρίτη Έκθεση Αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) προκειμένου να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου και συνεπώς η παγκόσμια μέση αλλαγή της θερμοκρασίας.
- Το υπο-μοντέλο των δύο καμπυλών μάθησης, που ενδογενοποιεί όσο το δυνατό την τεχνική πρόοδο μέσω της μάθησης από την έρευνα και την εμπειρία. Στο μοντέλο ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ έχουν εκτιμηθεί οι δυναμικές τεχνολογίας για 51 τεχνολογικές επιλογές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την παραγωγή/αποθήκευση/μεταφορά υδρογόνου και τα επιβατικά αυτοκίνητα.
 - Παράμετροι κόστους κεφαλαίου για 44 τεχνολογικές επιλογές
 - Σταθερά λειτουργικά κόστη και κόστη συντήρησης για 34 τεχνολογίες. Αν και περιλαμβάνουν το κόστος εργασίας, η τεχνική πρόοδος υπολογίζεται με βάση την αύξηση της αυτοματοποίησης, την αξιοπιστία και τις οικονομίες κλίμακα
 - Παράμετροι μεταβλητού κόστους για 7 τεχνολογίες, προσαρμοσμένες στην αποδοτικότητα
 - Παράμετροι απόδοσης για 20 τεχνολογίες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

3.1. Μοντέλο για την κατασκευή της στοχαστικής κατανομής των πόρων μη συμβατικού αερίου (σχιστολιθικού και έγκλειστου)

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας δημιουργήσαμε ένα μοντέλο με την βοήθεια του στατιστικού προγράμματος E-VIEWS 6 για την κατασκευή της στοχαστικής κατανομής των πόρων του σχιστολιθικού και του έγκλειστου αερίου. Βασιζόμενοι σε γεωλογικές μελέτες [9], θεωρήσαμε ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των πόρων σχιστολιθικού και έγκλειστου αερίου με τους πόρους του συμβατικού αερίου. Δηλαδή, οι πιθανότητες να υπάρχουν σχιστολιθικοί σχηματισμοί και κοιτάσματα έγκλειστου αερίου είναι μεγαλύτερες σε περιοχές που υπάρχουν πόροι συμβατικού φυσικού αερίου σε σχέση με περιοχές χωρίς κοιτάσματα αερίου. Επομένως, για τα παγκόσμια κοιτάσματα φυσικού αερίου υπάρχει σχέση της μορφής:

$$resources_shale = f(resources_conv_gas)$$

$$resources_tight = f(resources_conv_gas)$$

Θεωρούμε ότι οι εξισώσεις παλινδρόμησης θα έχουν την μορφή:

$$\log(resources_shale) = \alpha_1 + \beta_1 \log(resources_conv_gas) + u_1$$

$$\log(resources_tight) = \alpha_2 + \beta_2 \log(resources_conv_gas) + u_2$$

Όπου τα $resources_shale$, $resources_tight$, $resources_conv_gas$ εκφράζουν τους πόρους σχιστολιθικού, έγκλειστου και συμβατικού φυσικού αερίου αντίστοιχα και τα β_1 , β_2 , αντιπροσωπεύουν ελαστικότητες ως προς τους πόρους συμβατικού αερίου. Τα u_1 , u_2 , συνιστούν τους όρους σφάλματος αντιπροσωπεύοντας όλες εκείνες τις μεταβλητές που δεν έχουμε λάβει υπόψη μας. Οι όροι σφάλματος ακολουθούν την κανονική κατανομή με μηδενική μέση τιμή και σταθερή διακύμανση ενώ δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ τους.

Χρησιμοποιήσαμε τους φυσικούς λογάριθμους των μεταβλητών στη διαδικασία εκτίμησης των εξισώσεων διότι με αυτό τον τρόπο γραμμικοποιούμε τις πολλαπλασιαστικές εξισώσεις και κατά συνέπεια οι εκτιμώμενες παράμετροι β_1 , β_2 μπορούν να ερμηνευθούν σαν ελαστικότητες. Επιπλέον η διακύμανση του σφάλματος σε πολλές οικονομετρικές εξισώσεις δεν είναι σταθερή και επομένως χρησιμοποιείται ο λογαριθμικός μετασχηματισμός προκειμένου το μοντέλο παλινδρόμησης να παρουσιάσει ομοσκεδαστικότητα.

Για να γίνει η οικονομετρική εκτίμηση των παραπάνω εξισώσεων, χρησιμοποιήσαμε τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα τα οποία αντλήσαμε από την μελέτη του Παγκόσμιου Ινστιτούτου Ανάλυσης Εφαρμοσμένων Συστημάτων (IIASA) [27].

Region	Shale gas		Tight gas		Natural gas Historical production till 2009 [tcm]	Natural gas Reserves + resources BGR [tcm]	Natural gas Original Gas-in- Place [tcm]
	Resource		Resource				
	Potential		Potential				
	[tcm]	%	[tcm]	%			
USA	113.81	28.2%	37.58	17.7%	26.59	30.60	57.19
CAN	10.36	2.6%	21.76	10.2%	8.60	5.15	13.75
WEU	15.52	3.8%	4.94	2.3%	12.61	9.10	21.71
EEU	15.52	3.8%	4.94	2.3%	1.43	1.83	3.26
FSU	150.03	37.2%	34.61	16.3%	177.38	25.29	202.67
NAF	10.36	2.6%	9.90	4.7%	16.83	2.71	19.53
EAF	5.17	1.3%	4.94	2.3%	0.61	0.03	0.64
WCA	20.69	5.1%	14.83	7.0%	10.51	0.34	10.85
SAF	5.17	1.3%	4.94	2.3%	2.41	0.05	2.47
MEE	NA	NA	19.77	9.3%	108.73	5.44	114.17
CHN	5.17	1.3%	4.94	2.3%	12.23	0.96	13.19
OEA	5.17	1.3%	4.94	2.3%	2.28	0.05	2.34
IND	5.17	1.3%	4.94	2.3%	1.99	0.56	2.55
OSA	15.52	3.8%	9.90	4.7%	3.45	0.93	4.38
JPN	0.13	0.0%	0.13	0.0%	0.03	0.11	0.13
OCN	10.36	2.6%	4.94	2.3%	5.12	0.96	6.08
PAS	5.17	1.3%	9.90	4.7%	15.31	3.53	18.84
LAC	10.36	2.6%	14.83	7.0%	18.58	4.41	22.98
TOTAL	403.54	100.0%	212.57	100.0%	424.7	92.0	516.7

Πίνακας 3.1: Πόροι σχιστολιθικού, έγκλειστου και συμβατικού αερίου [27]

Οι συνολικοί πόροι συμβατικού φυσικού αερίου προκύπτουν από το άθροισμα της παραγωγής συμβατικού φυσικού αερίου μέχρι το 2009 και των αποθεμάτων και πόρων σύμφωνα με στοιχεία του BGR (2010) [28].

Στην ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιήσαμε διαστρωματικά δεδομένα (panel data analysis). Τα δεδομένα πάνελ αποτελούν ειδική περίπτωση των ομαδοποιημένων στοιχείων και αξιοποιούνται εκτενώς στη σύγχρονη οικονομετρία. Αποτελούν ένα σύνολο δεδομένων όπου ένα διαστρωματικό δείγμα απεικονίζεται διαχρονικά. Είναι δηλαδή συνδυασμός διαστρωματικών δεδομένων και χρονολογικών σειρών με τα εξής πλεονεκτήματα:

- Περιορίζεται η πολυσυγγραμμικότητα μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και αντιμετωπίζεται το πρόβλημα του μεροληπτικού σφάλματος (simultaneity bias)
- Αυξάνει ο αριθμός των παρατηρήσεων με συνέπεια η άνοδος των βαθμών ελευθερίας να οδηγεί στην βελτίωση της αποτελεσματικότητας των εκτιμηθέντων συντελεστών
- Περιορίζεται η ετεροσκεδαστικότητα
- Είναι πιο εύκολος ο έλεγχος της ετερογένειας μεταξύ των διαστρωματικών δεδομένων

Στη συνέχεια εφαρμόσαμε την μέθοδο των σταθμισμένων ελαχίστων τετραγώνων στο πρόγραμμα E-VIEWS 6 και πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα. (Ως στάθμιση χρησιμοποιήσαμε την τρίτη και πέμπτη στήλη του προηγούμενου πίνακα. Οι στήλες αυτές εκφράζουν τα μερίδια κάθε περιοχής στους συνολικούς πόρους).

Dependent Variable: LOG(resources_shale)					
Method: Least Squares					
Date: 03/06/13 Time: 10:57					
Sample: 1965 1982					
Included observations: 16					
Weighting series: WEIGHT_SHALE					
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	
a1	2.444026	0.424033	5.763763	0	
LOG(resources_conv_gas)	0.499616	0.08835	5.654954	0.0001	
Weighted Statistics					
R-squared	0.69551	Mean dependent var		4.064997	
Adjusted R-squared	0.673761	S.D. dependent var		8.693392	
S.E. of regression	0.574168	Akaike info criterion		1.844679	
Sum squared resid	4.615362	Schwarz criterion		1.941252	
Log likelihood	-12.75743	F-statistic		31.9785	
Durbin-Watson stat	1.143989	Prob(F-statistic)		0.000059	
Unweighted Statistics					
R-squared	0.095868	Mean dependent var		2.28296	
Adjusted R-squared	0.031287	S.D. dependent var		1.536058	
S.E. of regression	1.511838	Sum squared resid		31.99914	
Durbin-Watson stat	0.862126				

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα παλινδρόμησης για τους πόρους σχιστολιθικού αερίου

Dependent Variable: LOG(resources_tight)					
Method: Least Squares					
Date: 03/06/13 Time: 11:02					
Sample: 1965 1982					
Included observations: 18					
Weighting series: WEIGHT_TIGHT					
<hr/>					
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	
a2	1.904065	0.312224	6.0984	0	
LOG(resources_conv_gas)	0.332655	0.075731	4.392567	0.0005	
<hr/>					
Weighted Statistics					
R-squared	0.546673	Mean dependent var			2.804319
Adjusted R-squared	0.518341	S.D. dependent var			3.380137
S.E. of regression	0.509286	Akaike info criterion			1.592826
Sum squared resid	4.149958	Schwarz criterion			1.691756
Log likelihood	-12.33543	F-statistic			19.29464
Durbin-Watson stat	0.65995	Prob(F-statistic)			0.000454
<hr/>					
Unweighted Statistics					
R-squared	0.327052	Mean dependent var			2.013581
Adjusted R-squared	0.284992	S.D. dependent var			1.236915
S.E. of regression	1.045912	Sum squared resid			17.50291
Durbin-Watson stat	1.202892				

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα παλινδρόμησης για τους πόρους έγκλειστου αερίου

Αφού εκτιμήσαμε τις παραμέτρους μέσω των παραπάνω οικονομετρικών αναλύσεων, στη συνέχεια παράγαμε τις κατανομές των μεταβλητών κατάλληλα ώστε να προσομοιώνουν τα στοχαστικά χαρακτηριστικά της οικονομετρικής εξίσωσης. Η παραγωγή των στοχαστικών κατανομών στο μοντέλο ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα:

- Η διακύμανση της παλινδρόμησης είναι άγνωστη και ως εκ τούτου είναι και η ίδια μια τυχαία μεταβλητή. Κατά τη διαδικασία της εφαρμογής του μοντέλου, αυτό έχει αποδειχθεί ότι συνήθως συνιστά μια σημαντική πηγή μεταβλητότητας ιδίως γιατί τα δείγματα που χρησιμοποιούνται για τις οικονομετρικές εκτιμήσεις είναι μικρά.
- Οι εκτιμήσεις των παραμέτρων είναι στοχαστικές και χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις του δυναμικού μοντέλου ως στοχαστικές μεταβλητές ανεξάρτητες του χρόνου.
- Οι εκτιμήσεις των παραμέτρων δεν είναι στατιστικά ανεξάρτητες (παρουσιάζουν συνδιακύμανση). Αυτό συχνά έχει αποδειχθεί ότι συνιστά στοιχείο σταθερότητας. Ωστόσο αυτό δεν είναι ένας γενικός κανόνας: μια θετική συνδιακύμανση μεταξύ της οικονομικής δραστηριότητας και της ελαστικότητας τιμής συνοδευόμενη από μειωμένες τιμές θα οδηγήσει σε μια αύξηση της μεταβλητότητας κατά τη διαδικασία των προσομοιώσεων Monte Carlo.
- Οι όροι σφάλματος των εξισώσεων θεωρείται ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή, μεταβάλλονται με το χρόνο αλλά είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους και ως εκ τούτου, η σωρευτική τους επίδραση αυξάνεται, όμως με φθίνοντα ρυθμό.

Ακολουθήσαμε λοιπόν την παρακάτω διαδικασία:

- i. Αρχικά αποθηκεύσαμε τις εκτιμημένες παραμέτρους της εξίσωσης καθώς και τον πίνακα διακύμανσης – συνδιακύμανσης τους. Ο πίνακας αυτός (V) διαιρέθηκε με την εκτιμώμενη διακύμανση της εξίσωσης ($\hat{\sigma}^2$) προκειμένου να κανονικοποιηθεί, δηλαδή $V_1 = V/\hat{\sigma}^2$
- ii. Στη συνέχεια, παράχθηκε μια τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί την κατανομή χι-τετράγωνο για την διακύμανση του ι-οστού πειράματος, sv_i με την εκτιμώμενη μέση τιμή και τους απαιτούμενους βαθμούς ελευθερίας του δείγματος
- iii. Αυτή πολλαπλασιάστηκε με το V_1 , δηλαδή $V_{2,i} = V_1 * sv_i$
- iv. Αφού ο πίνακας $V_{2,i}$ έχει πραγματικά στοιχεία και είναι συμμετρικός και θετικά ορισμένος, εφαρμόστηκε διάσπαση κατά Cholesky. Ο πίνακας $V_{2,i}$ διασπάστηκε σε $V_{2,i} = P_i * P_i^T$, όπου ο πίνακας P_i είναι κάτω τριγωνικός, του οποίου ο ανάστροφος P_i^T είναι άνω τριγωνικός
- v. Μετά, παράχθηκε ένα διάνυσμα τυπικής κανονικής κατανομής $z_i \sim N(0,1)$ και πολλαπλασιάστηκε με τον πίνακα P_i
- vi. Τέλος, προσθέσαμε το διάνυσμα των μέσων τιμών των εκτιμητών των παραμέτρων της εξίσωσης b_i , και προέκυψε το διάνυσμα $f_i = P_i * z_i + b_i$

Το διάνυσμα f_i είναι συνεπές με τα αποτελέσματα της οικονομετρικής εκτίμησης, αφού η μέση τιμή του είναι προφανώς b_i , και ο πίνακας συνδιακύμανσης του:

$$E[(f - E(f))(f - E(f))^T] = E[(Pz)(Pz)^T] = E[Pzz^T P^T] = PE[zz^T]P^T = PIP^T = PP^T = V_2.$$

Σε αυτή την εξίσωση χρησιμοποιήσαμε τις ιδιότητες της γραμμικής άλγεβρας και το γεγονός ότι $E[zz^T] = I$, προκειμένου να δείξουμε ότι το διάνυσμα f περιέχει τα χαρακτηριστικά της διακύμανσης και της συνδιακύμανσης της αρχικής εκτίμησης της οικονομετρικής εξίσωσης.

Τα σφάλματα τα οποία αντιπροσωπεύουν μεταβλητές που έχουν παραληφθεί παράχθηκαν μετά για όλες τις χρονικές περιόδους ως κανονικές τυχαίες μεταβλητές με μηδενική μέση τιμή, μηδενική συνδιακύμανση (είναι ανεξάρτητα) και με την πειραματική διακύμανση sv_i

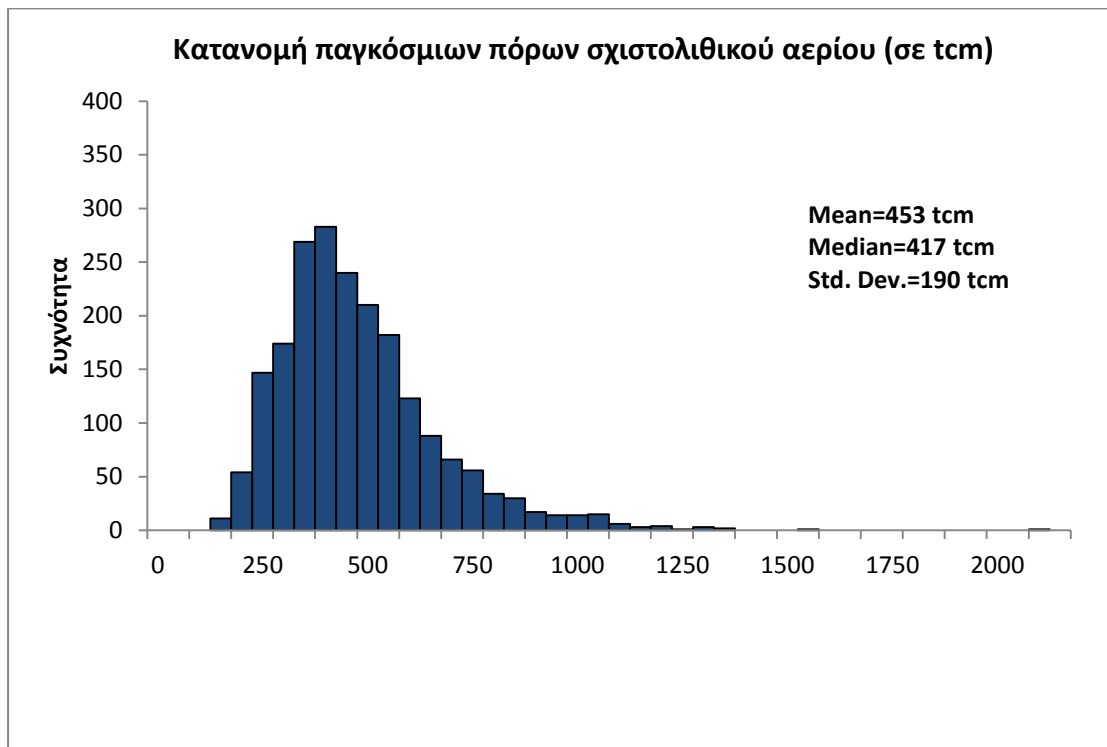
Η διαδικασία αυτή καλείται “generation process” και επαναλαμβάνεται για τις δύο εξισώσεις και εκτελείται για όλα τα πειράματα Monte Carlo. Σε μια τυπική εκτέλεση περιλαμβάνονται 2048 πειράματα Monte Carlo.

Τέλος, δημιουργήσαμε τις ακόλουθες εξισώσεις:

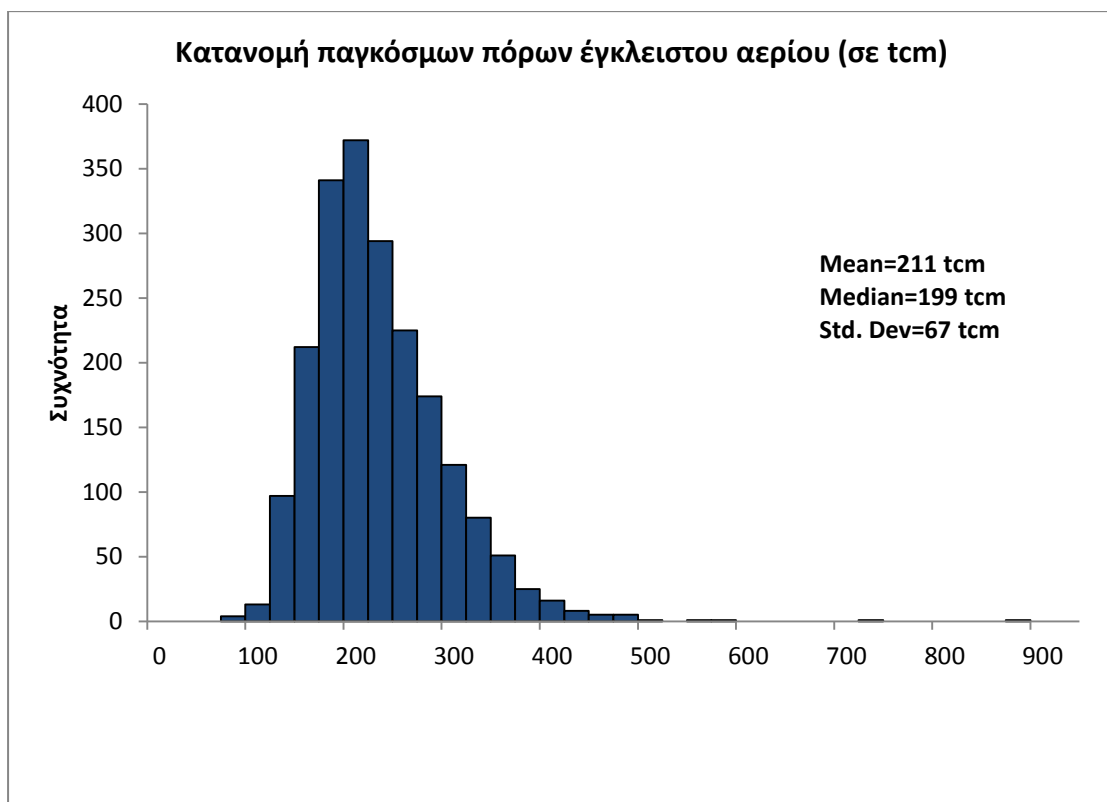
$$\log(ogip_shale) = c1 + c2 * \log(ogip_conv_gas) + u3 + 0.58$$

$$\log(ogip_tight) = c3 + c4 * \log(ogip_conv_gas) + u4 + 1.4$$

Τελικά, τα αποτελέσματα του μοντέλου για την κατανομή των πόρων σχιστολιθικού και έγκλειστου αερίου φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα:



Διάγραμμα 3.1: Κατανομή παγκόσμιων πόρων σχιστολιθικού αερίου (σε tcm)



Διάγραμμα 3.2: Κατανομή παγκόσμιων πόρων έγκλειστου αερίου (σε tcm)

3.2. Μοντέλο για την κατασκευή της στοχαστικής κατανομής των πόρων μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων (CBM)

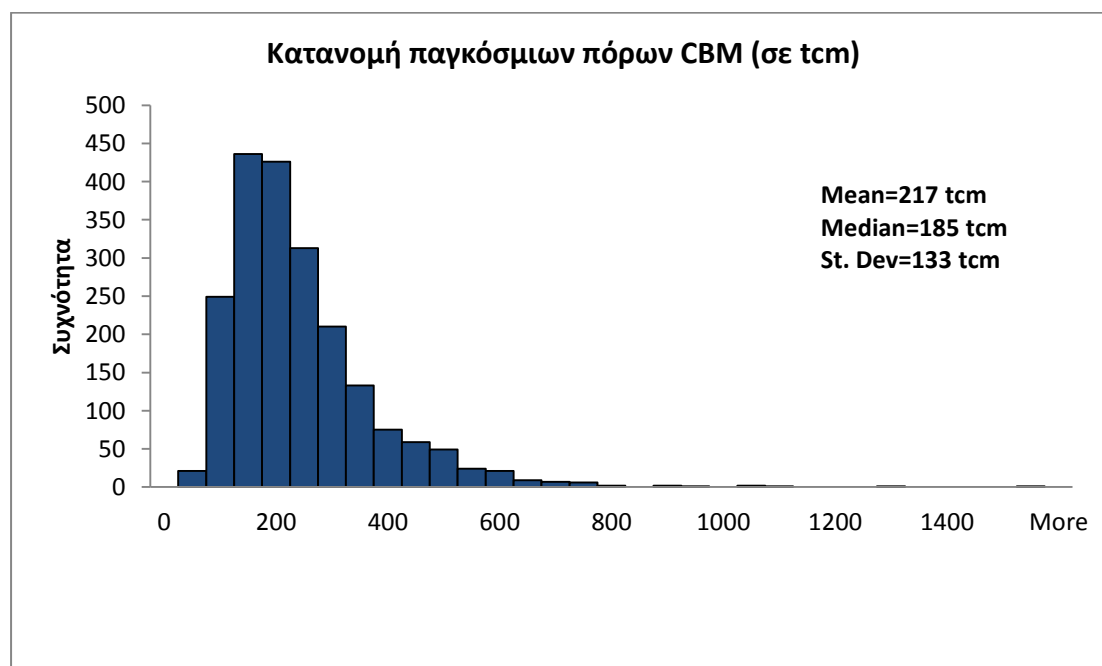
Στη συνέχεια, παράγαμε στοχαστικά την κατανομή των κοιτασμάτων μεθανίου από κοιτάσματα γαιάνθρακα. Θεωρούμε ότι οι πόροι αυτοί είναι στατιστικά ανεξάρτητοι από τους πόρους συμβατικού φυσικού αερίου καθώς συναντώνται σε μεταλλεία άνθρακα και δεν σχετίζονται με τα κοιτάσματα φυσικού αερίου. (Αυτό μπορεί να εξηγηθεί επίσης αν κάνουμε ανάλυση με δεδομένα panel από την μελέτη GEA-2012 [27]). Επίσης βασιζόμενοι στην θεωρία που ανέπτυξαν ο Grey το 1977 και ο Masters το 1979 [29] ότι όλοι οι φυσικοί πόροι στη γη ακολουθούν την λογαριθμοκανονική κατανομή (lognormal distribution), θεωρήσαμε ότι και οι πόροι του μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων ακολουθούν αυτή την κατανομή.

Παράγαμε λοιπόν ένα διάλυμα 2048 ψευδο-τυχαίων αριθμών που ακολουθούν την λογαριθμοκανονική κατανομή με τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Μέση τιμή: 5.22
- Τυπική απόκλιση: 0.55

Για να βρούμε τις παραμέτρους αυτές χρησιμοποιήσαμε στοιχεία από την μελέτη του Aluko που δημοσιεύτηκε τον Αύγουστο του 2001[17]. Στη μελέτη αυτή, δίνεται η μέγιστη εκτίμηση των πόρων cbm στα 283,1 tcm (εκφράσαμε την ποσότητα αυτή με την μορφή ποσοστημορίων ως P95) η μέση τιμή στα 188 tcm (P50) και η ελάχιστη εκτίμηση στα 86 tcm (P5).

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα του μοντέλου για την κατανομή των παγκόσμιων πόρων μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων:



Διάγραμμα 3.3: Κατανομή παγκόσμιων πόρων μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων (σε tcm)

3.3.Μοντέλο για την κατασκευή της στοχαστικής κατανομής των συντελεστών απόληξης των πόρων μη συμβατικού αερίου

Το 1979, Ο Masters [29] εισήγαγε την έννοια του τριγώνου των ενεργειακών αποθεμάτων (resources triangle) σύμφωνα με την οποία η εκμετάλλευση των μη συμβατικών ταμειυτήρων φυσικού αερίου επηρεάζεται σημαντικά από την τεχνολογία και την τιμή του φυσικού αερίου. Επιπλέον, μελέτες σε μη συμβατικά κοιτάσματα [30] στην Αμερική υποστήριξαν ότι μια βελτιωμένη τεχνολογία και υψηλότερες τιμές φυσικού αερίου οδηγούν σε περισσότερες εξορυκτικές δραστηριότητες και κατ'επέκταση σε περισσότερα αποθέματα και μεγαλύτερη παραγωγή από τους μη συμβατικούς ταμειυτήρες φυσικού αερίου.

Έτσι, θεωρήσαμε ότι ο συντελεστής απόληξης που εκφράζει το τμήμα εκείνο των πόρων αερίου στο κοιτάσμα που μπορεί να μετατραπεί σε αποθέματα και να παραχθεί με την πάροδο του χρόνου συνδέεται με ένα επίπεδο κορεσμού (εκφράζει την τεχνολογική πρόοδο που σημειώνεται στην εξορυκτική δραστηριότητα μη συμβατικού αερίου π.χ. υδραυλική ρωγμάτωση, οριζόντια γεώτρηση) και την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου.

Δηλαδή, όταν η παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου αυξάνεται (π.χ. για γεωπολιτικούς λόγους) είτε όταν η τεχνολογία βελτιώνεται, πραγματοποιούνται γεωτρήσεις σε περισσότερους ταμειυτήρες μη συμβατικού αερίου και έτσι ο συντελεστής απόληξης αυξάνεται και υπάρχει μεγαλύτερη παραγωγή μη συμβατικού αερίου [31].

Η παραπάνω σχέση αποτυπώνεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$R.F = \frac{S_t}{1 + e^{-a(x-b)}}$$

Όπου $S_t = S_{t-1} * e^{c+u}$ εκφράζει τον βαθμό κορεσμού

x: παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου και

b: η τιμή του φυσικού αερίου πάνω από την οποία θεωρείται οικονομική η παραγωγή μη συμβατικού φυσικού αερίου

Βασιζόμενοι στην μελέτη της IEA [16], θεωρήσαμε ότι η τιμή του φυσικού αερίου πάνω από την οποία γίνεται οικονομική η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου είναι τα 6,7\$/Mbtu. Η τιμή αυτή προκύπτει από τον μέσο όρο των τιμών φυσικού αερίου που ανακτούν το κόστος παραγωγής ανά φρεάρ (break-even costs) μη συμβατικού αερίου στην Ευρώπη και την Αμερική. Η τιμή φυσικού αερίου πάνω από την οποία γίνεται οικονομική η παραγωγή του έγκλειστου αερίου και του μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων είναι κατά ένα δολάριο μεγαλύτερη (7,7 \$/Mbtu)

Βαθμός Κορεσμού:

Ο βαθμός κορεσμού St βρίσκεται στον αριθμητή της σχέσης του συντελεστή απόληψης. Εκφράζει την τεχνολογική πρόοδο στην εξόρυξη μη συμβατικού αερίου.

Δίνεται από τη σχέση $St = S_{t-1} * e^{c+u}$ για κάθε είδος μη συμβατικού αερίου

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήσαμε στο μοντέλο με ορίζοντα πρόβλεψης από το 2008 μέχρι το 2050 είναι ξεχωριστές για κάθε αέριο και παίρνουν την μορφή:

$$st_shale = st_shale(-1) * z_exp^{(tech_progress + ut_shale)}$$

$$st_tight = st_tight(-1) * z_exp^{(tech_progress + ut_tight)}$$

$$st_cbm = st_cbm(-1) * z_exp^{(tech_progress + ut_cbm)}$$

όπου $tech_progress$ εκφράζει την ετήσια βελτίωση της τεχνολογίας και προκύπτει από την παραγωγή τυχαίων αριθμών με μέση τιμή 0,025 και τυπική απόκλιση 0,008. Αυτό σημαίνει ότι η μέση ετήσια βελτίωση της τεχνολογίας είναι ίση με 2,5%. Η βελτίωση της τεχνολογίας περιλαμβάνει βελτίωση του ρυθμού επιτυχίας εξερεύνησης και ανάπτυξης φρεάτων, βελτίωση του ρυθμού ανακτησιμότητας ανά φρέαρ και του ρυθμού αρχικής παραγωγής αερίου. Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν από την μελέτη του Εθνικού Συμβουλίου Πετρελαίου των ΗΠΑ (US NPC) σχετικά με το μη συμβατικό αέριο [15].

Τα ut_shale , ut_tight , ut_cbm προκύπτουν από την παραγωγή τυχαίων αριθμών με μέση τιμή 0 και τυπική απόκλιση 0,0015.

3.4. Προσομοίωση στο μοντέλο PROMETHEUS

Στο στοχαστικό παγκόσμιο ενεργειακό μοντέλο PROMETHEUS ενσωματώσαμε στο υπο-μοντέλο των αποθεμάτων τις εξισώσεις που περιλαμβάνουν τα παγκόσμια αποθέματα των τριών τύπων μη συμβατικού αερίου (σχιστολιθικό αέριο, έγκλειστο αέριο και μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων).

Τα παγκόσμια αποθέματα των τριών ειδών μη συμβατικού αερίου για το διάστημα 2008 - 2050 προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των συνολικών πόρων για τα τρία αυτά είδη με την διαφορά του συντελεστή απόληψης μιας συγκεκριμένης χρονιάς με τον συντελεστή απόληψης της προηγούμενης χρονιάς.

Οι εξισώσεις αυτές δίνονται παρακάτω:

$$res_shale = ogip_shale * (rf_shale - rf_shale(-1))$$

$$res_tight = ogip_tight * (rf_tight - rf_tight(-1))$$

$$res_cbm = ogip_cbm * (rf_cbm - rf_cbm(-1))$$

όπου res_shale: τα παγκόσμια αποθέματα σχιστολιθικού αερίου
 res_tight: τα παγκόσμια αποθέματα έγκλειστου αερίου
 res_cbm: τα παγκόσμια αποθέματα μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων
 ogip_shale: οι παγκόσμιοι πόροι σχιστολιθικού αερίου
 ogip_tight: οι παγκόσμιοι πόροι έγκλειστου αερίου
 ogip_cbm: οι παγκόσμιοι πόροι μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων
 rf_shale, rf_shale(-1): ο συντελεστής απόληξης των πόρων σχιστολιθικού αερίου μιας χρονιάς και της προηγούμενης αντίστοιχα
 rf_tight, rf_tight(-1): ο συντελεστής απόληξης των πόρων έγκλειστου αερίου μιας χρονιάς και της προηγούμενης αντίστοιχα
 rf_cbm, rf_cbm(-1): ο συντελεστής απόληξης των πόρων μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων μιας χρονιάς και της προηγούμενης αντίστοιχα

Οι συντελεστές απόληξης για το διάστημα 2008 - 2050 για τα τρία είδη μη συμβατικού αερίου προκύπτουν στο μοντέλο από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$rf_shale = st_shale / (1 + z_exp^{(-a_shale * (av_gasprice / 7.35 - bench_shale))})$$

$$rf_tight = st_tight / (1 + z_exp^{(-a_tight * (av_gasprice / 7.35 - bench_tight))})$$

$$rf_cbm = st_cbm / (1 + z_exp^{(-a_cbm * (av_gasprice / 7.35 - bench_cbm))})$$

όπου το av_gasprice κάθε έτος είναι ίσο με τον μέσο όρο των τιμών φυσικού αερίου 5 προηγούμενων χρόνων, μετράται σε \$/toe και προκύπτει από την ακόλουθη εξίσωση:

$$av_gasprice = (gasprice(-1) + gasprice(-2) + gasprice(-3) + gasprice(-4) + gasprice(-5)) / 5$$

και το bench_shale είναι η τιμή του φυσικού αερίου πάνω από την οποία γίνεται οικονομική η παραγωγή των τριών τύπων μη συμβατικού αερίου.

Τα συνολικά παγκόσμια αποθέματα φυσικού αερίου που περιλαμβάνουν τα αποθέματα συμβατικού και μη συμβατικού αερίου δίνονται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$tresgas = resgas(-1) - prodgas(-1) + gresgas + res_shale + res_tight + res_cbm$$

όπου tresgas: τα συνολικά παγκόσμια αποθέματα φυσικού αερίου (συμβατικού και μη συμβατικού)

resgas(-1): τα συνολικά παγκόσμια αποθέματα συμβατικού φυσικού αερίου την προηγούμενη χρονιά

prodgas(-1): παγκόσμια παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου την προηγούμενη χρονιά

gresgas: ακαθάριστες εγχώριες προσθήκες στα παγκόσμια αποθέματα συμβατικού φυσικού αερίου. Αυτές είναι συνάρτηση των υπό-εύρεση παγκόσμιων αποθεμάτων φυσικού αερίου και των ακαθάριστων προσθηκών στα παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου.

3.5. Διαμόρφωση Σεναρίων

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας θα μελετήσουμε την επίδραση της διεύρυνσης της παγκόσμιας προσφοράς φυσικού αερίου με την προσθήκη των παγκόσμιων αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου (σχιστολιθικό αέριο, έγκλειστο αέριο, μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων) σε βασικές μεταβλητές του ενεργειακού συστήματος και του περιβάλλοντος.

Διαμορφώσαμε για αυτό το λόγο δύο σενάρια.

Στο σενάριο αναφοράς θεωρούμε ότι δεν υπάρχει εκμετάλλευση των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου καθώς δεν ξεπερνιούνται περιβαλλοντικά ζητήματα και κοινωνικά εμποδία που συνδέονται με την αποδοχή τους ως μιας νέας πηγής ενέργειας. Επίσης δεν υπάρχουν επαρκείς γεωλογικές γνώσεις σχετικά με τους ταμιευτήρες μη συμβατικού αερίου ενώ σε πολλές χώρες υπάρχει απαγόρευση της τεχνολογίας που είναι απαραίτητη για την εξόρυξη μη συμβατικού αερίου ενώ σε όλο τον κόσμο δημιουργούνται ζώνες αποκλεισμού και επιβάλλονται αυστηροί περιορισμοί σε διερευνητικές γεωτρήσεις.

Στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου θεωρούμε ότι οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για την διεύρυνση της παγκόσμιας προσφοράς φυσικού αερίου με την προσθήκη των παγκόσμιων αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου. Υπάρχει εύκολη και διαφανής πρόσβαση σε γεωλογικά δεδομένα σχετικά με σχηματισμούς μη συμβατικού αερίου ενώ το κανονιστικό και ρυθμιστικό πλαίσιο ευνοεί τις επενδύσεις για εξερευνητικές γεωτρήσεις με διάνοιξη φρεάτων σε περιοχές με πιθανά κοιτάσματα μη συμβατικού αερίου. Επίσης, η τεχνολογία εξόρυξης μη συμβατικού αερίου διαδίδεται από την Βόρεια Αμερική σε πολλές χώρες του κόσμου και υπάρχει συνεργασία μεταξύ των κυβερνήσεων των χωρών σε έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που βοηθούν την εξόρυξη μη συμβατικού αερίου.

Θα εστιάσουμε την σύγκριση μας στα αποτελέσματα του μοντέλου για τα δύο σενάρια στα παρακάτω:

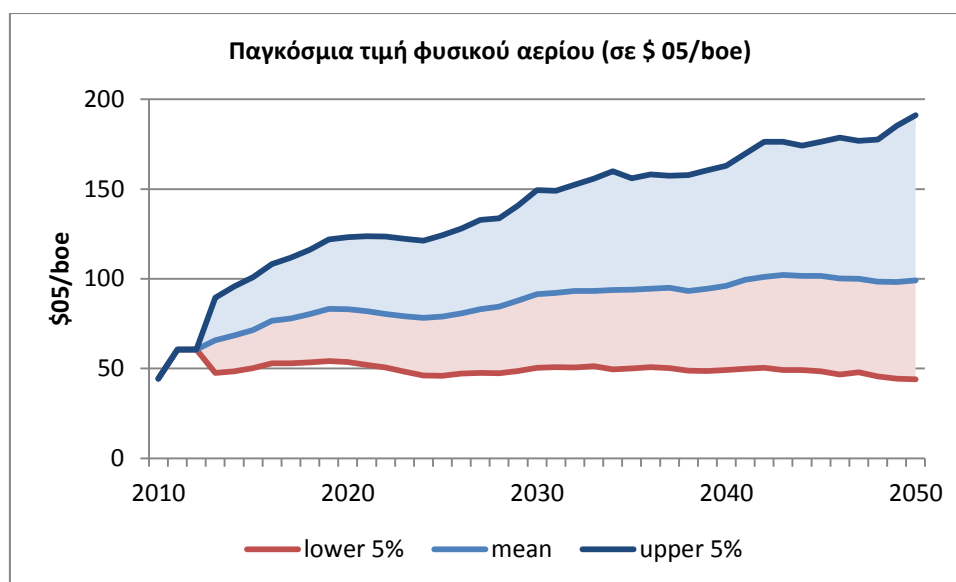
- Παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου
- Λόγος παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς παγκόσμια τιμή άνθρακα
- Λόγος παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς παγκόσμια τιμή πετρελαίου
- R/P λόγος του φυσικού αερίου
- Πρωτογενής ζήτηση ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακας, πετρέλαιο) σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο
- Μερίδιο τεχνολογιών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο
- Παγκόσμιες εκπομπές CO₂

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1. Παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του στοχαστικού μοντέλου ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ, στο σενάριο αναφοράς, η παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου το διάστημα 2010-2050 σημειώνει μέση ετήσια αύξηση 1,8% ενώ η πιθανότητα η ετήσια αύξηση να ξεπεράσει το 2% είναι 42%. Το 2030 η μέση τιμή φυσικού αερίου είναι 91,5 \$/boe, αυξημένη κατά 106% σε σχέση με την τιμή του το 2010. Το 2050 η μέση τιμή φυσικού αερίου είναι 99,1 \$/boe, αυξημένη κατά 123% σε σχέση με την τιμή του το 2010. Ο κύριος λόγος αύξησης της μέσης τιμής φυσικού αερίου το διάστημα 2010-2050 είναι η εξάντληση των παγκόσμιων αποθεμάτων φυσικού αερίου καθώς η παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου εξαρτάται από τον λόγο των παγκόσμιων αποθεμάτων φυσικού αερίου προς την παγκόσμια παραγωγή του. Η πιθανότητα η τιμή φυσικού αερίου το 2030 να είναι πάνω από δύο φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την τιμή του το 2010 είναι 47% και το 2050 η αντίστοιχη πιθανότητα είναι 50%. Ως προς την αβεβαιότητα της εξέλιξης της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου, παίρνοντας τους λόγους της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή φυσικού αερίου, προκύπτει ότι η αβεβαιότητα αυξάνεται καθώς πλησιάζουμε το 2050 λόγω της μεγάλης αβεβαιότητας που υπάρχει στην εξέλιξη του παγκόσμιου ενεργειακού συστήματος (παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη, τεχνολογική πρόοδος)

Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει την εξέλιξη της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου το διάστημα 2010-2050 (μέση τιμή και ποσοστημόρια p5, p95).



Διάγραμμα 4.1: Παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο αναφοράς το διάστημα 2010-2050 (μέση τιμή και ποσοστημόρια)

Παρακάτω δίνονται τα συνοπτικά στατιστικά που προκύπτουν από το μοντέλο για την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο αναφοράς τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040 και 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	44.4	83.0	91.5	96.1	99.1
Median		80.4	86.4	90.1	89.4
St.Dev.		21.3	31.1	36.2	46.8
Lower 5%		53.6	50.4	49.1	43.9
Upper 5%		123.1	149.4	162.9	191.1

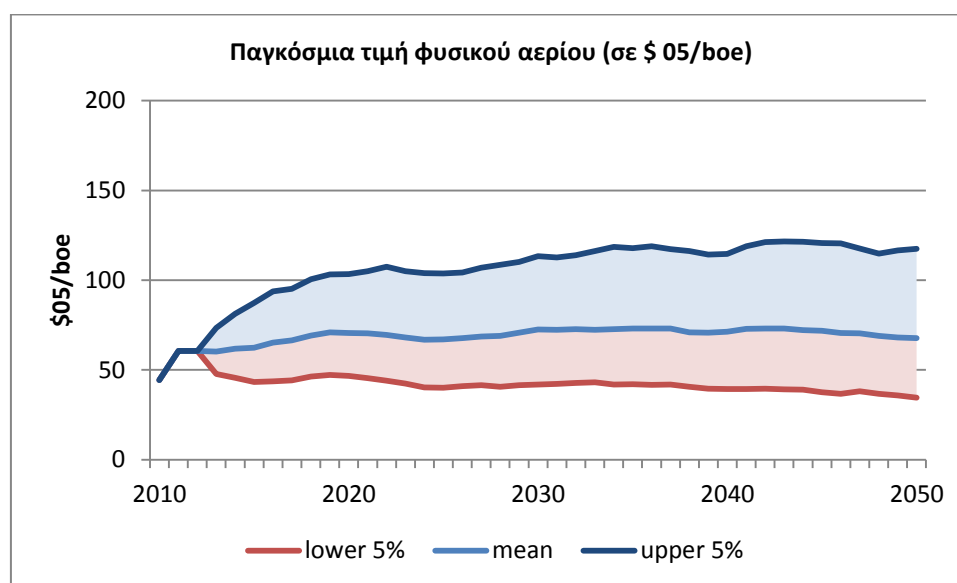
Πίνακας 4.1: Συνοπτικά στατιστικά για την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο αναφοράς (σε \$ 05/boe)

Στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, η παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου σημειώνει μέση ετήσια αύξηση 0,9% το διάστημα 2010-2050 ενώ η πιθανότητα η ετήσια αύξηση να ξεπεράσει το 2% είναι μόλις 12%. Παρατηρούμε ότι ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι ίσος με το 50% του μέσου ετήσιου ρυθμού αύξησης του σεναρίου αναφοράς ενώ η πιθανότητα η ετήσια αύξηση να ξεπεράσει το 2% είναι κατά 71% μικρότερη σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Η διαφορά αυτή στους ρυθμούς αύξησης οφείλεται στο γεγονός ότι στο σενάριο αναφοράς τα αποθέματα φυσικού αερίου μειώνονται πιο γρήγορα απ'ότι στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου καθώς στο σενάριο αναφοράς υπάρχουν μόνο τα αποθέματα συμβατικού φυσικού αερίου. Το 2030 η μέση παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου είναι 72,5 \$/boe, μειωμένη κατά 21% σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του σεναρίου αναφοράς. Η πιθανότητα η παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου το 2030 στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς είναι 100%. Το 2050 η μέση τιμή φυσικού αερίου είναι 67,8 \$/boe, μειωμένη κατά 32% σε σχέση με την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς. Η πιθανότητα η παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου το 2050 στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς είναι 98%. Επιπλέον, από το 2020 μέχρι το 2050 η πιθανότητα η παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς είναι σχεδόν 100% .

Συγκρίνοντας τα δύο σενάρια ως προς τις παγκόσμιες τιμές φυσικού αερίου το διάστημα 2020-2050, παρατηρούμε ότι στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου οι παγκόσμιες τιμές φυσικού αερίου είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες του σεναρίου αναφοράς. Λαμβάνοντας υπόψιν μας ότι η παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου εξαρτάται κυρίως από τον λόγο των παγκόσμιων αποθεμάτων φυσικού αερίου προς την παγκόσμια παραγωγή του, η κύρια αιτία της διαφοράς των τιμών φυσικού αερίου στα δύο σενάρια οφείλεται στο γεγονός ότι στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, με την

προσθήκη των αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου το παραπάνω πηλίκο είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το σενάριο αναφοράς και επομένως επηρεάζονται σημαντικά οι τιμές φυσικού αερίου. Αντίθετα το πρώτο διάστημα (2010-2020), οι τιμές φυσικού αερίου επηρεάζονται λιγότερο από το παραπάνω πηλίκο καθώς τα αποθέματα μη συμβατικού αερίου που προστίθενται είναι ακόμα λίγα (χαμηλός συντελεστής απόληψης τα πρώτα χρόνια).

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η εξέλιξη της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το διάστημα 2010-2050 (μέση τιμή και ποσοστημότητα p5, p95).



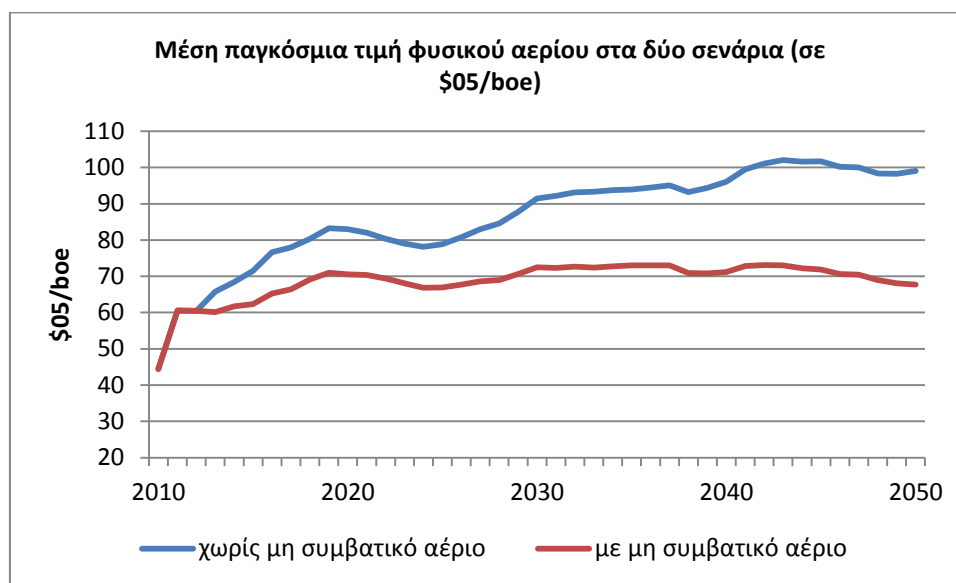
Διάγραμμα 4.2: Παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το διάστημα 2010-2050 (μέση τιμή και ποσοστημότητα)

Παρακάτω δίνονται τα συνοπτικά στατιστικά που προκύπτουν από το μοντέλο για την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040 και 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	44.4	70.6	72.5	71.2	67.8
Median		68.3	69.4	67.3	62.7
St.Dev.		17.8	22.3	24.2	27.7
Lower 5%		46.6	41.8	39.3	34.5
Upper 5%		103.4	113.4	114.6	117.4

Πίνακας 4.2: Συνοπτικά στατιστικά για την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε \$ 05/boe)

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η εξέλιξη στην παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στα δύο σενάρια το διάστημα 2010-2050 (μέση τιμή).



Διάγραμμα 4.3: Μέση παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στα δύο σενάρια (σε Mtoe)

- **Λόγος παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς παγκόσμια τιμή άνθρακα**

Σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του μοντέλου ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ, ο λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή του άνθρακα το 2010 είναι 2,4.

Στο σενάριο αναφοράς, ο μέσος λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή άνθρακα το 2030 είναι 4,2, αυξημένος κατά 75% σε σχέση με τον αντίστοιχο λόγο του 2010. Επιπλέον, έχει πιθανότητα 24% να είναι πάνω από δυο φορές μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο λόγο του 2010. Το 2050 ο μέσος λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή άνθρακα είναι 3,2, αυξημένος κατά 33% σε σχέση με τον αντίστοιχο λόγο του 2010. Επίσης έχει πιθανότητα 14% να είναι πάνω από δυο φορές μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο λόγο του 2010.

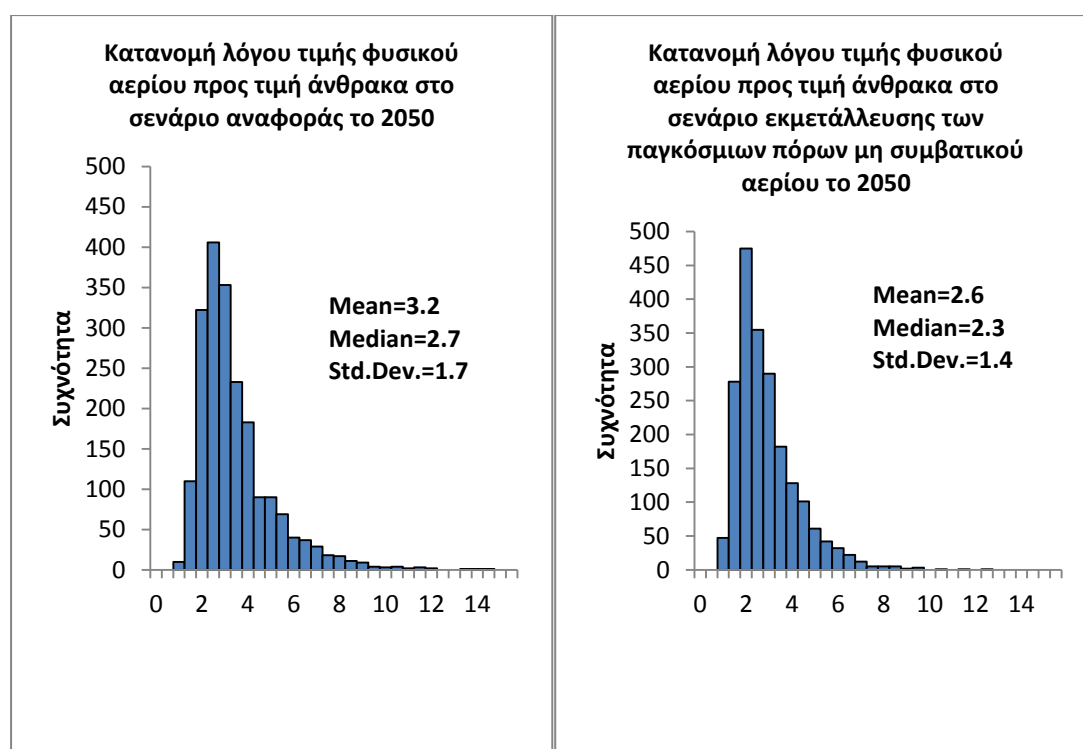
Στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, ο μέσος λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή άνθρακα το 2030 είναι 3,7, 12% μικρότερος από αυτόν του σεναρίου αναφοράς και το 2050 είναι 2,6, 19% μικρότερος από τον αντίστοιχο του σεναρίου αναφοράς. Η πιθανότητα ο λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή του άνθρακα στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το 2030

να είναι μικρότερος από το αντίστοιχο του σεναρίου αναφοράς είναι 96% και η αντίστοιχη πιθανότητα το 2050 είναι 88%.

Οι μικρότεροι μέσοι λόγοι παγκόσμιων τιμών φυσικού αερίου προς παγκόσμιων τιμών άνθρακα αλλά και οι μεγάλες πιθανότητες οι λόγοι αυτοί στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου να είναι μικρότεροι από τους αντίστοιχους του σεναρίου αναφοράς είναι πολύ σημαντικοί για την μελλοντική υποκατάσταση του άνθρακα από το φυσικό αέριο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στην μετάβαση σε μια μελλοντική οικονομία με χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η χρήση του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή παρουσιάζει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα έναντι της χρήσης του άνθρακα (χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου, μεγαλύτερη ευελιξία, μικρότεροι χρόνοι κατασκευής εργοστασίων).

Η κύρια αιτία της μείωσης των λόγων της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή του άνθρακα στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου οφείλεται στο γεγονός ότι η προσθήκη των αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου οδηγεί σε μια αύξηση του ηλικίου R/P του φυσικού αερίου και επομένως σε μείωση των τιμών του.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κατανομές των λόγων της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή άνθρακα στα δύο σενάρια το έτος 2050.



Διάγραμμα 4.4: Κατανομή λόγου παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς παγκόσμια τιμή άνθρακα στα δύο σενάρια το 2050

- **Λόγος παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς παγκόσμια τιμή πετρελαίου**

Σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του μοντέλου ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ, ο λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή πετρελαίου το 2010 είναι 0,63.

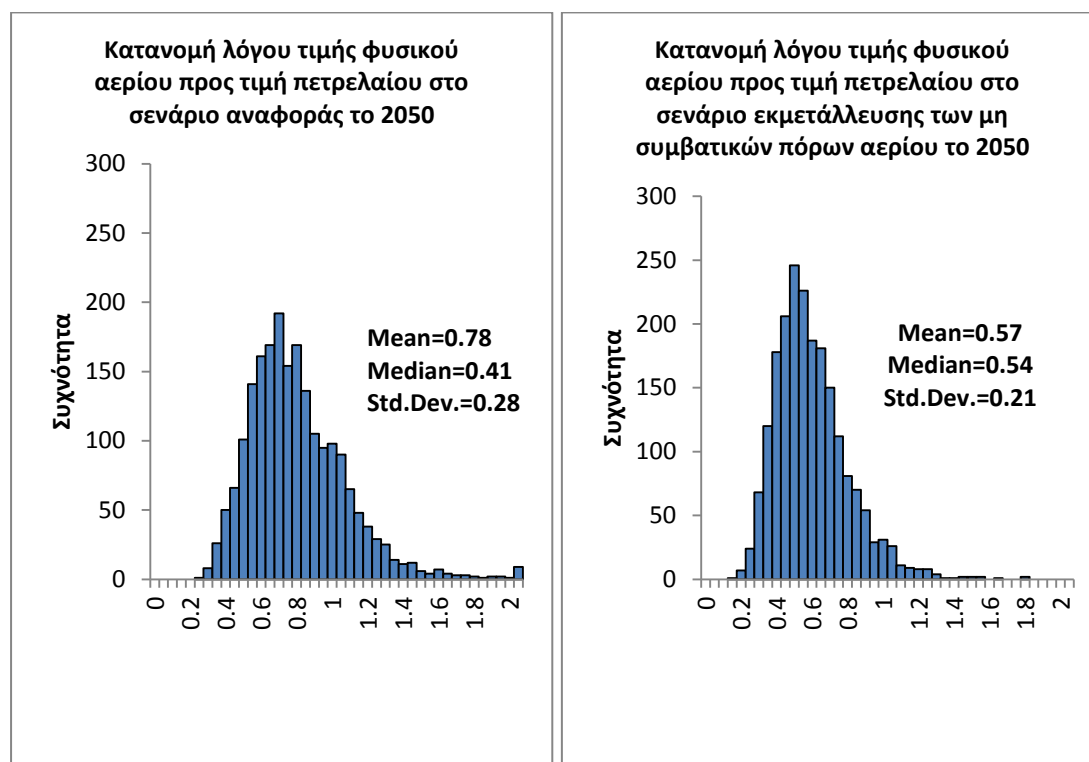
Το 2050, ο μέσος λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή πετρελαίου είναι 0,78, αυξημένος κατά 24% σε σχέση με τον αντίστοιχο λόγο του 2010. Επίσης, έχει πιθανότητα 68% να είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο λόγο του 2010.

Στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου, ο μέσος λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή πετρελαίου το 2050 είναι 0,57, μειωμένος κατά 10% σε σχέση με τον αντίστοιχο λόγο του 2010. Επίσης, έχει 33% πιθανότητα να είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο λόγο του 2010.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου στα δύο εξεταζόμενα σενάρια, παρατηρούμε ότι οι μέσοι λόγοι της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή πετρελαίου είναι μικρότεροι στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς σε όλο τον ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου. Χαρακτηριστικά, το 2050 ο λόγος αυτός είναι 0,57, μειωμένος κατά 27% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Επίσης οι πιθανότητες ο λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή πετρελαίου να είναι μικρότερος στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς είναι σχεδόν 100% σε όλο τον ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου. Η κύρια αιτία που ο λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή πετρελαίου είναι μικρότερος στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς είναι η μεγαλύτερη πτώση των τιμών φυσικού αερίου που προκαλεί η μεγάλη προσφορά φυσικού αερίου με την προσθήκη των μη συμβατικών πόρων του σε σχέση με την άνοδο της τιμής του πετρελαίου και στα δύο σενάρια. (Η παγκόσμια τιμή πετρελαίου ακολουθεί την ίδια ανοδική πορεία το διάστημα 2010-2050 και στα δύο σενάρια).

Οι μικρότεροι λόγοι της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή πετρελαίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς είναι πολύ σημαντικοί για μελλοντικές επενδύσεις στον τομέα των μεταφορών προκειμένου να επεκταθεί ακόμα περισσότερο η χρήση του φυσικού αερίου στα οχήματα (είτε ως καύσιμο των αυτοκινήτων είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την φόρτιση των μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων) αλλά και σε βιομηχανικές και οικιακές χρήσεις (πχ. οικιακή θέρμανση).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κατανομές των λόγων της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή πετρελαίου στα δύο σενάρια το έτος 2050.



Διάγραμμα 4.5: Κατανομή λόγου παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς παγκόσμια τιμή πετρελαίου στα δύο σενάρια το 2050

4.2. Λόγος παγκόσμιων αποθεμάτων προς παγκόσμια παραγωγή (R/P ratio) του φυσικού αερίου

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ, στο σενάριο αναφοράς, ο λόγος των παγκόσμιων αποθεμάτων προς την παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου σημειώνει μέση ετήσια μείωση 1,5% το διάστημα 2010-2050 ενώ η πιθανότητα η ετήσια μείωση να ξεπεράσει το 2% είναι 25%. Ο λόγος R/P του φυσικού αερίου το 2010 ανέρχεται στα 60 χρόνια ενώ το 2050 ο μέσος λόγος είναι 34 χρόνια. Η πιθανότητα να ξεπεράσει ο λόγος αυτός το 2030 τον λόγο του 2010 είναι 14% ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα το 2050 είναι μόλις 2%. Όσον αφορά την αβεβαιότητα του λόγου R/P το διάστημα 2010-2050, παίρνοντας το πηλίκο της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή, η αβεβαιότητα αυξάνεται όσο πλησιάζουμε προς το 2050. Η αιτία που ο λόγος των αποθεμάτων προς την παραγωγή του φυσικού αερίου σημειώνει πτώση το διάστημα 2010-2050 είναι η εξάντληση των παγκόσμιων αποθεμάτων φυσικού αερίου και η αύξηση της παραγωγής του καθώς υπάρχει αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση φυσικού αερίου.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνοπτικά στατιστικά του λόγου R/P του φυσικού αερίου στο σενάριο αναφοράς για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040 και 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	60	54	50	42	34
Median		53	48	40	32
St.Dev.		8	11	10	11
Lower 5%		40	35	28	20
Upper 5%		71	70	60	53

Πίνακας 4.3: Συνοπτικά στατιστικά για τον λόγο R/P του φυσικού αερίου στο σενάριο αναφοράς (σε χρόνια)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, ο λόγος των αποθεμάτων προς την παραγωγή φυσικού αερίου σημειώνει το διάστημα 2010-2050 μέση ετήσια μείωση 0,5%. Η πιθανότητα η μέση ετήσια μείωση να ξεπεράσει το 2% είναι μόλις 2%. Παρατηρούμε, ότι η μέση ετήσια μείωση του λόγου R/P του φυσικού αερίου είναι κατά 67% μικρότερη από αυτή του σεναρίου αναφοράς, ενώ η πιθανότητα η μέση ετήσια μείωση να ξεπεράσει το 2% είναι κατά 92% μικρότερη σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Ο μέσος λόγος R/P του φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου ανέρχεται στα 64 χρόνια το 2030, αυξημένος κατά 28% σε σχέση με τον αντίστοιχο του σεναρίου αναφοράς ενώ το 2050 ο μέσος λόγος ανέρχεται στα 51 χρόνια, μεγαλύτερος κατά 50% του αντίστοιχου του σεναρίου αναφοράς. Η πιθανότητα το 2030 ο λόγος R/P να ξεπεράσει τον αντίστοιχο του 2010 είναι 70% και το 2050 είναι 29%. Οι αντίστοιχες πιθανότητες στο σενάριο αναφοράς είναι 14% και 2%. Η πιθανότητα ο λόγος R/P να είναι μεγαλύτερος από 50% του αντίστοιχου στο σενάριο αναφοράς το 2030 είναι 15% και το 2050 45%. Σε όλο το διάστημα 2010-2050 ο λόγος R/P του φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο του σεναρίου αναφοράς.

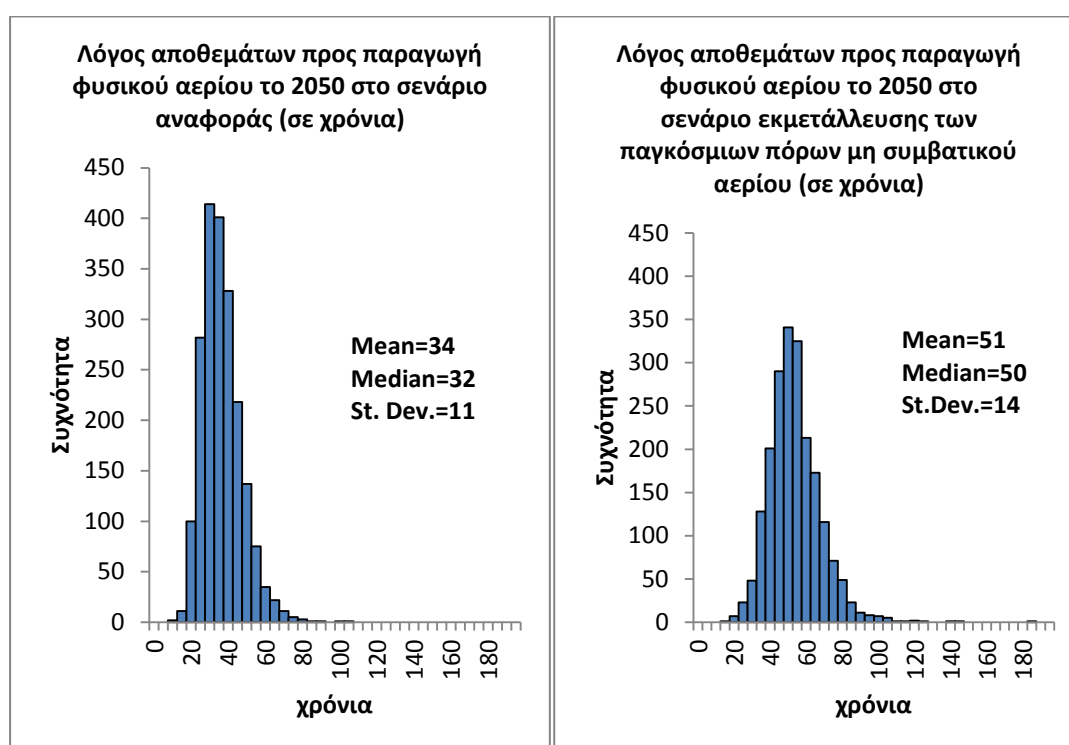
Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνοπτικά στατιστικά για τον λόγο των παγκόσμιων αποθεμάτων προς την παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040 και 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	60	62	64	58	51
Median		61	62	57	50
St.Dev.		11	12	13	14
Lower 5%		48	47	40	31
Upper 5%		82	84	81	76

Πίνακας 4.4: Συνοπτικά στατιστικά για τον λόγο R/P του φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε χρόνια)

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου για τα δύο εξεταζόμενα σενάρια, προκύπτει ότι ο μέσος λόγος των παγκόσμιων αποθεμάτων προς την παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο του σεναρίου αναφοράς το διάστημα 2010-2050 ενώ και οι πιθανότητες ο λόγος R/P του φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου να ξεπεράσει τον λόγο του σεναρίου αναφοράς είναι 100%. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι με την προσθήκη των αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου ουσιαστικά αυξάνεται ο αριθμητής του πηλίκου με αποτέλεσμα να αυξάνεται και ο ίδιος ο λόγος R/P του φυσικού αερίου (αυξάνεται και η παραγωγή αλλά λιγότερο από τα αποθέματα).

Παρακάτω παρουσιάζεται η κατανομή του λόγου των παγκόσμιων αποθεμάτων προς την παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου στα δύο σενάρια το 2050.



Διάγραμμα 4.6: Κατανομή του λόγου παγκόσμιων αποθεμάτων προς παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου στα δύο σενάρια το 2050

4.3. Πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου, άνθρακα και πετρελαίου

- Πρωτογενής Ζήτηση Φυσικού Αερίου

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του στοχαστικού μοντέλου ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ, η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στο σενάριο αναφοράς σημειώνει μέση ετήσια αύξηση 1,6% για το διάστημα 2010-2050 ενώ έχει πιθανότητα 24% η ετήσια αύξηση να ξεπεράσει το 2%. Το 2010 η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου ανέρχεται στα 2.879 Mtoe ενώ το 2050 η μέση ετήσια ζήτηση είναι κατά 94% αυξημένη στα 5.612 Mtoe. Η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου το 2030 να είναι πάνω από δύο φορές μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή του 2010 είναι μόλις 3% ενώ το 2050 η αντίστοιχη πιθανότητα είναι 42%. Όσον αφορά την αβεβαιότητα στην εξέλιξη της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου κατά τη διάρκεια πρόβλεψης του μοντέλου, παίρνοντας τους λόγους της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αβεβαιότητα μεγαλώνει όσο πλησιάζουμε το 2050 εξαιτίας της αβεβαιότητας στην εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος (οικονομική ανάπτυξη, παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου).

Παρακάτω δίνονται τα συνοπτικά στατιστικά που προκύπτουν από το μοντέλο για την πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στο σενάριο αναφοράς για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040 και 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	2879	3877	4345	4913	5612
Median		3852	4284	4827	5513
St.Dev.		386	675	807	1129
Lower 5%		3298	3337	3763	3987
Upper 5%		4543	5521	6342	7596

Πίνακας 4.5: Συνοπτικά στατιστικά για την παγκόσμια πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στο σενάριο αναφοράς (σε Mtoe)

Στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου σημειώνει μέση ετήσια αύξηση 2,2% για την περίοδο 2010-2050 ενώ έχει πιθανότητα 62% να ξεπεράσει το 2%. Η πιθανότητα στο σενάριο αυτό η μέση ετήσια αύξηση της ζήτησης φυσικού αερίου την περίοδο 2010-2050 να ξεπεράσει την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς είναι 81%. Το 2030 η μέση ζήτηση φυσικού αερίου ανέρχεται στα 4.734 Mtoe, μεγαλύτερη κατά 9% σε σχέση με την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς, ενώ το 2050 ανέρχεται σε 6.850 Mtoe, μεγαλύτερη κατά 22% σε σχέση με την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς. Η πιθανότητα η ζήτηση φυσικού αερίου το 2030 να είναι πάνω από 2 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τα επίπεδα του 2010 είναι 9% ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα το 2050 είναι 83%. Στο σενάριο αναφοράς οι αντίστοιχες πιθανότητες ήταν 3% και 42%. Από

το 2025 μέχρι το 2050 η ζήτηση στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου έχει 100% πιθανότητα να είναι μεγαλύτερη από αυτή του σεναρίου αναφοράς.

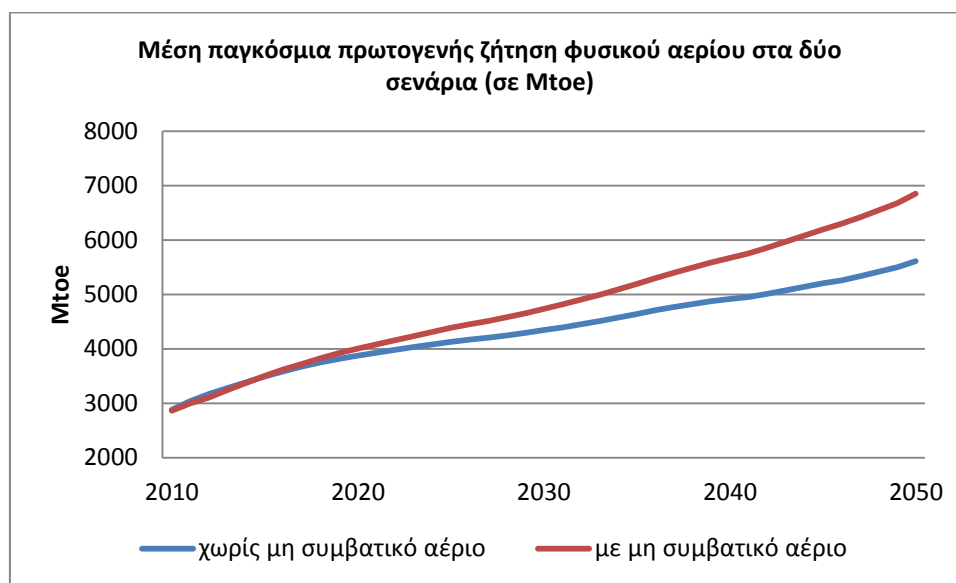
Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει τα συνοπτικά στατιστικά που προκύπτουν από το μοντέλο για την πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040 και 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	2879	4004	4734	5669	6850
Median		3970	4694	5604	6738
St.Dev.		412	734	903	1212
Lower 5%		3387	3630	4352	5047
Upper 5%		4723	6016	7239	8998

Πίνακας 4.6: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε Mtoe)

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου στα δύο σενάρια, η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου αυξάνεται με μεγαλύτερο μέσο ρυθμό σε σχέση με το σενάριο αναφοράς το διάστημα 2010-2050. Επίσης, από το 2025 μέχρι το 2050 η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου έχει 100% πιθανότητα να είναι μεγαλύτερη από αυτή του σεναρίου αναφοράς. Αυτές οι διαφορές οφείλονται στο γεγονός ότι με την προσθήκη των αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου αυξάνεται η προσφορά του φυσικού αερίου με αποτέλεσμα οι παγκόσμιες τιμές φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου να είναι μικρότερες σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης φυσικού αερίου σε όλους τους ενεργειακούς τομείς (βιομηχανικό, οικιακό, εμπορικό τομέα, ηλεκτροπαραγωγή) και έτσι αυξάνεται η ζήτηση του.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η εξέλιξη της παγκόσμιας πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου στα δύο σενάρια το διάστημα 2010-2050 (μέση τιμή).



Διάγραμμα 4.7: Μέση παγκόσμια πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στα δύο σενάρια (σε Mtoe)

- **Πρωτογενής Ζήτηση Άνθρακα**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του στοχαστικού μοντέλου ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ, στο σενάριο αναφοράς, η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα αυξάνεται με μέσο ετήσιο ρυθμό 1,7% το διάστημα 2010-2020 ενώ στο διάστημα 2020-2050 διατηρείται σε σταθερά επίπεδα γύρω στα 4.000 Mtoe. Η μέση ετήσια αύξηση στην πρωτογενή ζήτηση άνθρακα το διάστημα 2010-2050 είναι μόλις 0,4%, λιγότερη δηλαδή από το 1/3 του μέσου ρυθμού αύξησης του φυσικού αερίου για το ίδιο σενάριο. Επομένως η πρωτογενής ζήτηση του άνθρακα αυξάνεται με πολύ μικρότερο ρυθμό σε σχέση με τη ζήτηση του φυσικού αερίου στο πρώτο σενάριο εξαιτίας κυρίως της αυξανόμενης χρήσης αερίου που υποκαθιστά τον άνθρακα στις βιομηχανικές χρήσεις και στην ηλεκτροπαραγωγή καθώς και της κλιματικής πολιτικής περιορισμού των εκπομπών CO₂. Η πιθανότητα η μέση ετήσια αύξηση της πρωτογενούς ζήτησης άνθρακα να ξεπεράσει το 1% είναι 20%. Το 2010 η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα ανέρχεται στα 3.426 Mtoe, 19% μεγαλύτερη από την πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου το ίδιο έτος ενώ το 2050 είναι κατά 20% μικρότερη της. Η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στο σενάριο αναφοράς να είναι μεγαλύτερη από την πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου το 2020 είναι 70% ενώ όσο πλησιάζουμε προς το 2050 η πιθανότητα αυτή μειώνεται σημαντικά. Χαρακτηριστικά το 2030 η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα να ξεπεράσει τη πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου είναι 49% ενώ το 2050 είναι μόλις 15%. Όσον αφορά την αβεβαιότητα στην εξέλιξη της πρωτογενούς ζήτησης άνθρακα κατά τη διάρκεια πρόβλεψης του μοντέλου, παίρνοντας τους λόγους της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή, τα αποτελέσματα

δείχνουν ότι η αβεβαιότητα μεγαλώνει όσο πλησιάζουμε το 2050 γεγονός που οφείλεται στην αυξανόμενη κατά μέση τιμή ένταση στις κλιματολογικές πολιτικές.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνοπτικές στατιστικές για την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στο σενάριο αναφοράς για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040 και 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	3426	4148	4053	3972	4116
Median		4410	4447	4268	4214
St.Dev.		881	1321	1141	1006
Lower 5%		2432	1573	1794	2351
Upper 5%		5215	5658	5412	5628

Πίνακας 4.7: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στο σενάριο αναφοράς (σε Mtoe)

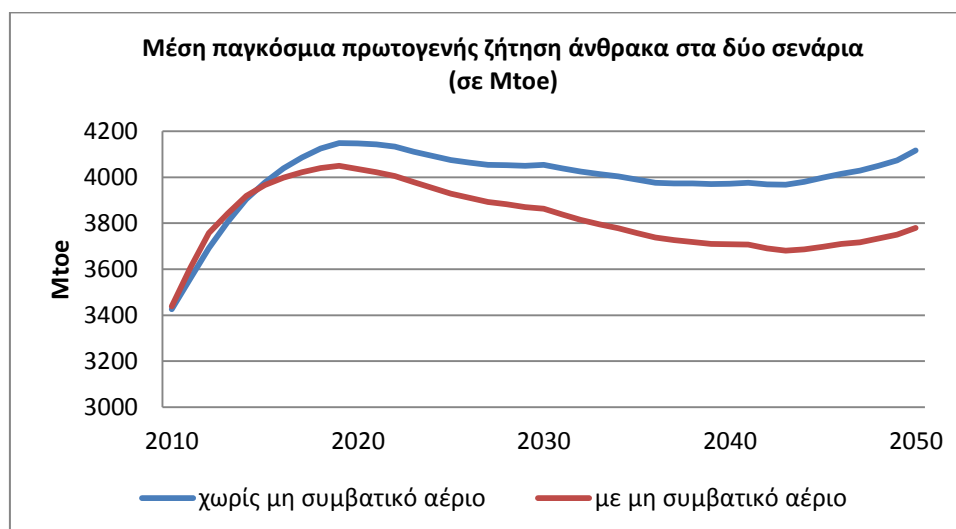
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου, στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα αυξάνεται το διάστημα 2010-2020 με μέσο ετήσιο ρυθμό 1,4% ενώ το διάστημα 2020-2050 σημειώνει πτώση με μέσο ετήσιο ρυθμό 0,2%. Η μέση ετήσια αύξηση στην πρωτογενή ζήτηση άνθρακα το διάστημα 2010-2050 είναι μόλις 0,2% ενώ η μέση ετήσια αύξηση στη πρωτογενή ζήτηση άνθρακα το ίδιο διάστημα στο σενάριο αναφοράς ήταν η διπλάσια. Η πιθανότητα η μέση ετήσια αύξηση στην πρωτογενή ζήτηση άνθρακα να ξεπεράσει το 1% είναι μόλις 9%. ενώ στο σενάριο αναφοράς η αντίστοιχη πιθανότητα ήταν 20%. Η μέση πρωτογενής ζήτηση άνθρακα το 2030 ανέρχεται στα 3.863 Mtoe, μειωμένη κατά 18% σε σχέση με την μέση πρωτογενή ζήτηση του φυσικού αερίου ενώ το 2050 ανέρχεται στα 3.779 Mtoe, δηλαδή σχεδόν το μισό της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου το ίδιο έτος. Η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου να είναι μικρότερη της αντίστοιχης του σεναρίου αναφοράς από το 2020 μέχρι το 2050 είναι 100%. Η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το 2030 να είναι μικρότερη από το μισό της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου είναι 20% ενώ το 2050 είναι 36%.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040 και 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	3426	4036	3863	3708	3779
Median		4288	4246	3988	3851
St.Dev.		854	1259	1062	913
Lower 5%		2382	1493	1695	2160
Upper 5%		5044	5368	5032	5162

Πίνακας 4.8: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε Mtoe)

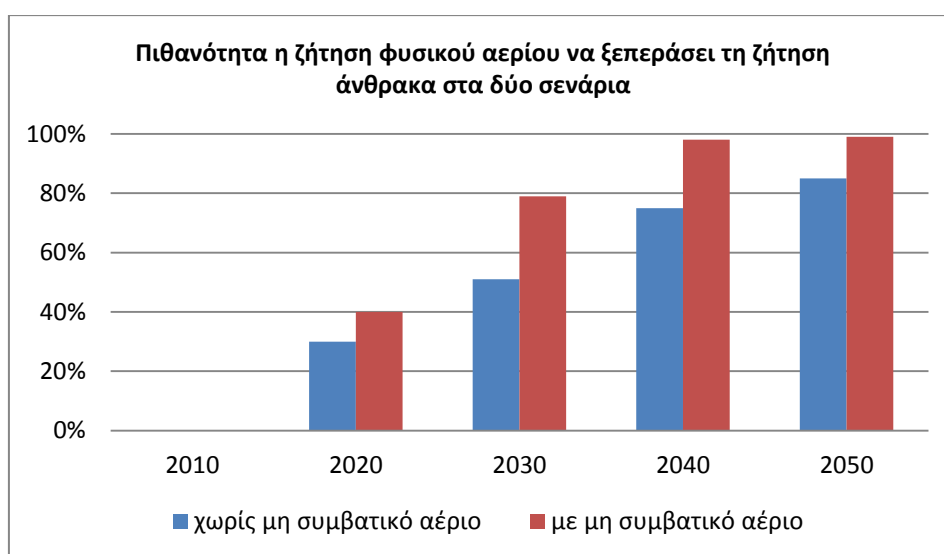
Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η εξέλιξη της παγκόσμιας πρωτογενούς ζήτησης άνθρακα στα δύο σενάρια το διάστημα 2010-2050 (μέση τιμή).



Διάγραμμα 4.8: Παγκόσμια πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στα δύο σενάρια (σε Mtoe)

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου για τη πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου και άνθρακα στα δύο σενάρια, παρατηρούμε ότι στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου οι πιθανότητες υποκατάστασης του άνθρακα από το φυσικό αέριο είναι μεγαλύτερες σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Ο κύριος λόγος αυτής της διαφοράς είναι η μείωση της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς που προκαλεί αύξηση στην πρωτογενή ζήτηση αερίου (κυρίως στην ηλεκτροπαραγωγή).

Αυτό φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα που παρουσιάζει την πιθανότητα κατά σενάριο η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου να ξεπεράσει την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα το διάστημα 2010-2050.



Διάγραμμα 4.9: Πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου να ξεπεράσει την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στα δύο σενάρια το διάστημα 2010-2050 (%)

- **Πρωτογενής Ζήτηση Πετρελαίου**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου στο σενάριο αναφοράς, η παγκόσμια πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου σημειώνει μέση ετήσια αύξηση 1,9% το διάστημα 2010-2050 ενώ η πιθανότητα η ετήσια αύξηση να ξεπεράσει το 2% είναι 39%. Το 2010, η πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου ανέρχεται σε 4.127 Mtoe. Το 2030 η μέση πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου ανέρχεται σε 5.908 Mtoe, αυξημένη κατά 43% σε σχέση με το 2010, και το 2050 ανέρχεται σε 8.753 Mtoe, αυξημένη κατά 112% σε σχέση με το 2010. Η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου το 2030 να είναι πάνω από μιάμιση φορά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του 2010 είναι 30% ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα το 2050 είναι 95%. Η αύξηση αυτή που παρατηρείται στην πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου οφείλεται κυρίως στην αυξανόμενη ζήτηση του πετρελαίου στον τομέα των μεταφορών και στην αυξανόμενη διείσδυση αυτοκινήτων στις αναπτυσσόμενες οικονομίες (κυρίως στην Κίνα, Ινδία και Μέση Ανατολή).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στο σενάριο αναφοράς για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040 και 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	4127	4873	5908	7264	8753
Median		4848	5868	7197	8690
St.Dev.		366	644	1089	1688
Lower 5%		4301	4920	5574	6159
Upper 5%		5496	7036	9168	11864

Πίνακας 4.9: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στο σενάριο αναφοράς (σε Mtoe)

Στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, η πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου ακολουθεί παρόμοια πορεία με αυτή του σεναρίου αναφοράς με ίδιο μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης το διάστημα 2010-2050. Το 2030, η μέση πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου είναι 5.868 Mtoe, αυξημένη κατά 42% σε σχέση με το 2010 και το 2050 ανέρχεται σε 8.707 Mtoe, αυξημένη κατά 110% σε σχέση με το 2010. Η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου το 2030 να είναι πάνω από μιάμιση φορά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του 2010 είναι 28% ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα το 2050 είναι 94%.

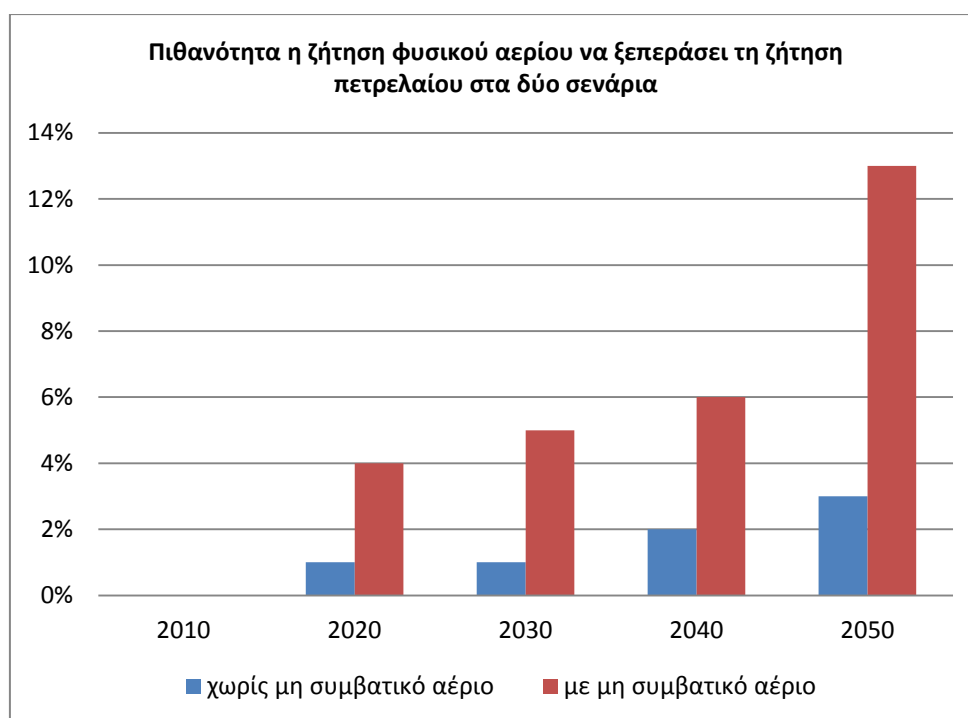
Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνοπτικά στατιστικά για την ζήτηση πετρελαίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040 και 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	4127	4773	5868	7218	8707
Median		4750	5830	7153	8631
St.Dev.		356	643	1082	1685
Lower 5%		4217	4890	5539	6127
Upper 5%		5383	6996	9105	11790

Πίνακας 4.10: Συνοπτικά στατιστικά για την παγκόσμια πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε Mtoe)

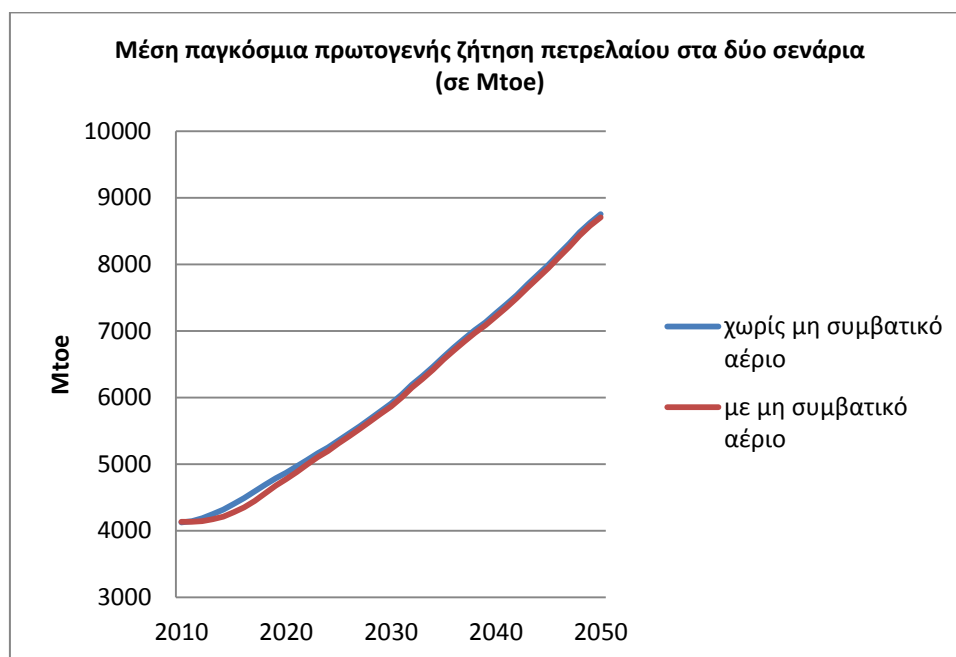
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου για την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στα δύο εξεταζόμενα σενάρια, παρατηρούμε ότι η μέση πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι ελαφρώς μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς. Χαρακτηριστικά, το 2030 η μέση πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι 5.868 Mtoe, μειωμένη κατά 0,7% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, και το 2050 ανέρχεται σε 8.707 Mtoe, μειωμένη κατά 0,5% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Ο κύριος λόγος της μικρής αυτής διαφοράς στην πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου ανάμεσα στα δύο σενάρια είναι ότι το πετρέλαιο χρησιμοποιείται κυρίως στον τομέα των μεταφορών και δεν ανταγωνίζεται πολύ τα άλλα καύσιμα στους άλλους τομείς ενέργειας (π.χ. ηλεκτροπαραγωγή). Επομένως, η μεγαλύτερη προσφορά φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων μη συμβατικών πόρων αερίου δεν επηρεάζει σημαντικά την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου.

Αυτό φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα που παρουσιάζει τις πιθανότητες η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου να ξεπεράσει την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στα δύο σενάρια.



Διάγραμμα 4.10: Πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου να ξεπεράσει την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στα δύο σενάρια το διάστημα 2010-2050 (%)

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η εξέλιξη της παγκόσμιας πρωτογενούς ζήτησης πετρελαίου στα δύο σενάρια το διάστημα 2010-2050 (μέση τιμή).



Διάγραμμα 4.11: Μέση παγκόσμια πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στα δύο σενάρια (σε Mtoe)

4.4.Μερίδια κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Σύμφωνα με την βάση δεδομένων του μοντέλου ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ, το 2008, ο άνθρακας είναι το κυρίαρχο καύσιμο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με μερίδιο 41,1%. Το φυσικό αέριο αποτελεί τον κύριο ανταγωνιστή του με μερίδιο 21,3% ενώ ακολουθούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (υδροηλεκτρική, ηλιακή, αιολική, βιομάζα) με μερίδιο 18,9%. Η πυρηνική ενέργεια κατέχει μερίδιο 13,4% ενώ το μικρότερο μερίδιο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατέχει το πετρέλαιο με 5,3%

Παρακάτω παρουσιάζονται τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2008.

2008					
	coal	gas	oil	nuclear	renewables
Μερίδια (%)	41.1%	21.3%	5.3%	13.4%	18.9%

Πίνακας 4.11: Μερίδια των κύριων καυσίμων στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2008 (%)

Σενάριο αναφοράς:

Στο σενάριο αναφοράς, ο άνθρακας το 2030 χάνει ένα μέρος μεριδίου του στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πέφτοντας στο 33,3% (μέση τιμή). Αντίθετα ο βασικός ανταγωνιστής του, το φυσικό αέριο αυξάνει το μέσο μερίδιο του στο 28,4%. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξάνουν το μέσο μερίδιο τους σημαντικά από 18,9% το 2008 σε 28,7% το 2030 ξεπερνώντας το μέσο μερίδιο του φυσικού αερίου το ίδιο έτος. Η υποκατάσταση του άνθρακα από το λιγότερο ρυπογόνο φυσικό αέριο και η αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελούν κομμάτι των κλιματικών πολιτικών περιορισμού των παγκόσμιων εκπομπών CO₂. Αντίθετα, το μέσο μερίδιο της πυρηνικής ενέργειας μειώνεται στο 8% από 13,4% το 2008. Επίσης, το πετρέλαιο χάνει μεγάλο τμήμα του μεριδίου του καθώς η μέση τιμή του μεριδίου του στην ηλεκτροπαραγωγή πέφτει από το 5,3% στο 1,6%.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των καυσίμων στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως προκύπτουν από τα αποτελέσματα του μοντέλου για το σενάριο αναφοράς το 2030.

	2030				
	coal	gas	oil	nuclear	renewables
Mean	33.3	28.4	1.6	8	28.7
Median	37.8	28.3	1.5	6.6	25.4
Std. Dev.	11	5.1	1	3.3	8.7
lower 5%	12	20.3	0.3	5.3	19.6
upper 5%	44	37	3.4	15	46.5
Μερίδιο το 2008	41.1	21.3	5.3	13.4	18.9
% διαφορά σε σχέση με το 2008	-19%	33%	-70%	-41%	52%

Πίνακας 4.12: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σενάριο αναφοράς το 2030 (%)

Μελετώντας τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2030 να ξεπεράσει το 30% είναι 37%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2030 να είναι λιγότερο από 30% είναι 23%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου να είναι μεγαλύτερο από το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2030 είναι 28%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου να είναι μεγαλύτερο από το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2030 είναι 56%.

- Η πιθανότητα το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να ξεπεράσει το 30% το 2030 είναι 28%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να ξεπεράσει το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2030 είναι 23%.

Το 2050, το μέσο μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πέφτει ακόμα περισσότερο στο 25,5% ενώ αντίθετα το φυσικό αέριο ξεπερνάει το μέσο μερίδιο του άνθρακα με μερίδιο 30,3% (μέση τιμή). Παίρνοντας το λόγο της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή παρατηρούμε ότι το 2050 η αβεβαιότητα σχετικά με το μερίδιο του φυσικού αερίου είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το 2030. Η αβεβαιότητα αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι το μέγεθος της χρήσης του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή θα εξαρτηθεί σημαντικά από την παγκόσμια τιμή του αλλά και από την σχέση της τιμής του με την τιμή του άνθρακα. Το μεγαλύτερο μέσο μερίδιο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατέχουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με μέση τιμή 31,9%. Η πυρηνική ενέργεια αυξάνει το μέσο μερίδιο της κατά 16% σε σχέση με το 2030 φτάνοντας στο 9,3% το 2050. Αντίθετα, το πετρέλαιο συνεχίζει να χάνει το μερίδιο του αφού αντικαθίσταται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα υπόλοιπα καύσιμα και φτάνει στο 1,4%. Παρατηρούμε μια αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής και την μείωση των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των καυσίμων στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως προκύπτουν από τα αποτελέσματα του μοντέλου για το σενάριο αναφοράς το 2050.

	2050				
	coal	gas	oil	nuclear	renewables
Mean	25.5	30.3	1.4	9.3	31.9
Median	26.9	30	0.7	8.3	31.8
Std. Dev.	7.2	8.3	1.6	4.5	6.8
lower 5%	12.5	17.5	0.1	4.2	21.3
upper 5%	35.8	45.1	4.9	18.5	43.1
Μερίδιο το 2008	41.1	21.3	5.3	13.4	18.9
% διαφορά σε σχέση με το 2008	-38%	42%	-74%	-31%	69%

Πίνακας 4.13: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σενάριο αναφοράς το 2050 (%)

Μελετώντας τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτουν οι ακόλουθες πιθανότητες:

- Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 να ξεπεράσει το 30% είναι 50%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 να είναι λιγότερο από 30% είναι 69%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου να είναι μεγαλύτερο από το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 είναι 64% ενώ η πιθανότητα να είναι πάνω από δυο φορές μεγαλύτερο είναι 14%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου να είναι μεγαλύτερο από το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 είναι 43%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να ξεπεράσει το 30% το 2050 είναι 60%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να ξεπεράσει το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 είναι 64%.

Σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου:

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου για το σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, το μέσο μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται από 21,3% το 2008 σε 31,8% το 2030 ξεπερνώντας το μέσο μερίδιο που κατέχει ο άνθρακας το ίδιο έτος (το μερίδιο του φυσικού αερίου στο πρώτο σενάριο το 2030 ήταν 28,4%). Έτσι, γίνεται το κυρίαρχο καύσιμο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίθετα, ο άνθρακας χάνει σημαντικό κομμάτι του μεριδίου του, κυριώς από το φυσικό αέριο που είναι ο κύριος ανταγωνιστής του, πέφτοντας στο 31,5% κατά μέση τιμή. Σημαντική αύξηση του μεριδίου τους στο διάστημα 2008-2030 σημειώνουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με το μέσο μερίδιο τους το 2030 να φτάνει το 27,6%. Αντίθετα, η πυρηνική ενέργεια χάνει αρκετό ποσοστό από το μέσο μερίδιο της το 2030 που πέφτει από το 13,4% το 2008 στο 7,7% το 2030. Επίσης το μέσο μερίδιο του πετρελαίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πέφτει σημαντικά, από 5,3% το 2008 σε 1,4% το 2030.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των καυσίμων στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2030.

	2030				
	coal	gas	oil	nuclear	renewables
Mean	31.5	31.8	1.4	7.7	27.6
Median	35.8	31.8	1.3	6.4	24.3
Std. Dev.	10.5	4.9	0.9	3.1	8.6
lower 5%	11.2	24	0.2	5.2	18.8
upper 5%	41.5	39.8	3.1	14.4	45.3
Μερίδιο το 2008	41.1	21.3	5.3	13.4	18.9
% διαφορά σε σχέση με το 2008	-23%	49%	-74%	-43%	46%

Πίνακας 4.14: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το 2030 (%)

Μελετώντας τα αποτελέσματα του μοντέλου, προκύπτουν οι ακόλουθες πιθανότητες:

- Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2030 να ξεπεράσει το 30% είναι 64%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2030 να είναι λιγότερο από 30% είναι 24%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου να είναι μεγαλύτερο από το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2030 είναι 41%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου να είναι μεγαλύτερο από το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2030 είναι 71%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να ξεπεράσει το 30% είναι 25%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να ξεπεράσει το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2030 είναι 23%.

Το 2050, το φυσικό αέριο αυξάνει ακόμα περισσότερο το μέσο μερίδιο του στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας φτάνοντας το 38,7%. Αντίθετα, ο άνθρακας χάνει ακόμα περισσότερο από το μέσο μερίδιο του φτάνοντας στο 23,3%. Παρατηρείται δηλαδή μια μεγάλη στροφή στην υποκατάσταση του άνθρακα με φυσικό αέριο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το φυσικό αέριο το οποίο χρησιμοποιείται σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούν στροβίλους συνδυασμένου κύκλου (CCGTs) συνιστά επιλογή για τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής κυρίως για λόγους οικονομικούς, λειτουργικούς και περιβαλλοντικούς. Οι μονάδες αυτές έχουν σχετικά υψηλή απόδοση, είναι σχετικά γρήγορες στην κατασκευή και φθηνές, ευέλικτες στην λειτουργία τους και εκλύουν λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα. Οι ανανεώσιμες πηγές

ενέργειας σημειώνουν μια μικρή αύξηση του μέσο μεριδίου τους από το 2030 φτάνοντας το 28,1% το 2050 ξεπερνώντας το μέσο μερίδιο του άνθρακα κατά 21%. Επίσης, το μέσο μερίδιο της πυρηνικής ενέργειας διατηρείται σε παρόμοια επίπεδα με εκείνα του 2030. Αντίθετα, το μέσο μερίδιο του πετρελαίου μειώνεται ακόμα περισσότερο στο 1,1%.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνοπτικά στατιστικά των μεριδίων των κύριων καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 όπως προκύπτουν από τα αποτελέσματα του μοντέλου.

	2050				
	coal	gas	oil	nuclear	renewables
Mean	23.3	38.7	1.1	7.4	28.1
Median	24.3	38.6	0.5	6.5	27.4
Std. Dev.	6.5	7.3	1.4	3.4	6.5
lower 5%	11.7	26.9	0	3.7	18.7
upper 5%	32.5	50.5	4.2	14.4	39.7
Μερίδιο το 2008	41.1	21.3	5.3	13.4	18.9
% διαφορά σε σχέση με το 2008	-43%	82%	-79%	-45%	49%

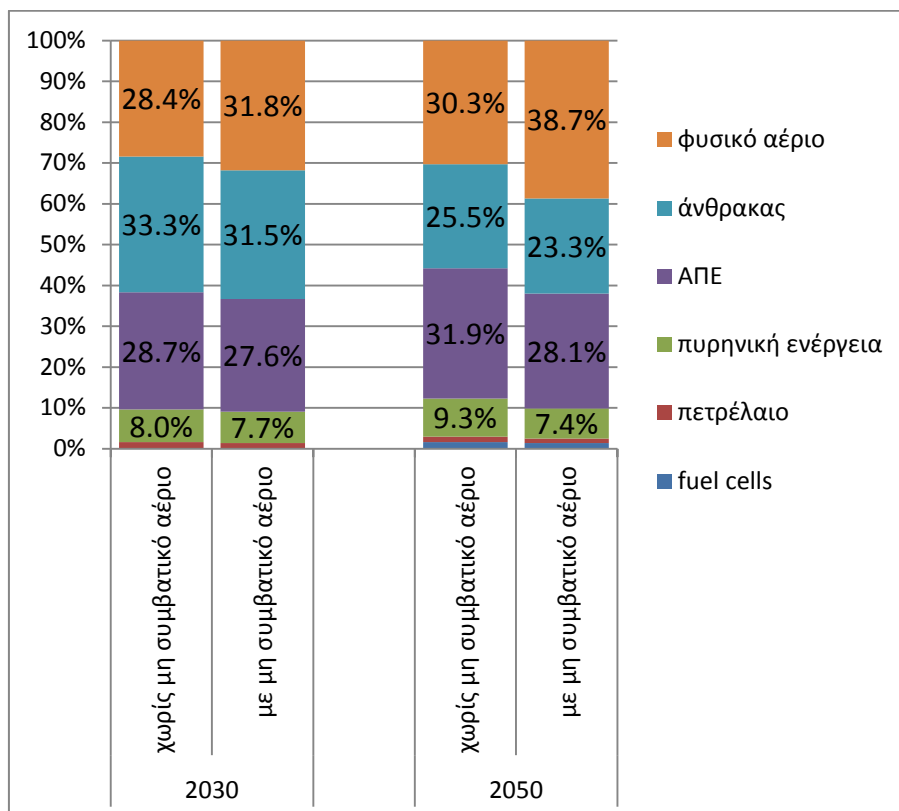
Πίνακας 4.15: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το 2050 (%)

Μελετώντας τα αποτελέσματα του μοντέλου, προκύπτουν οι ακόλουθες πιθανότητες:

- Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 να ξεπεράσει το 30% είναι 89%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 να είναι λιγότερο από 30% είναι 85%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου να είναι μεγαλύτερο από το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 είναι 96% ενώ η πιθανότητα να είναι πάνω από δυο φορές μεγαλύτερο είναι 31%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου να είναι μεγαλύτερο από το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 είναι 78%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να ξεπεράσει το 30% είναι 36%.
- Η πιθανότητα το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να ξεπεράσει το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 είναι 58%.

Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο σεναρίων

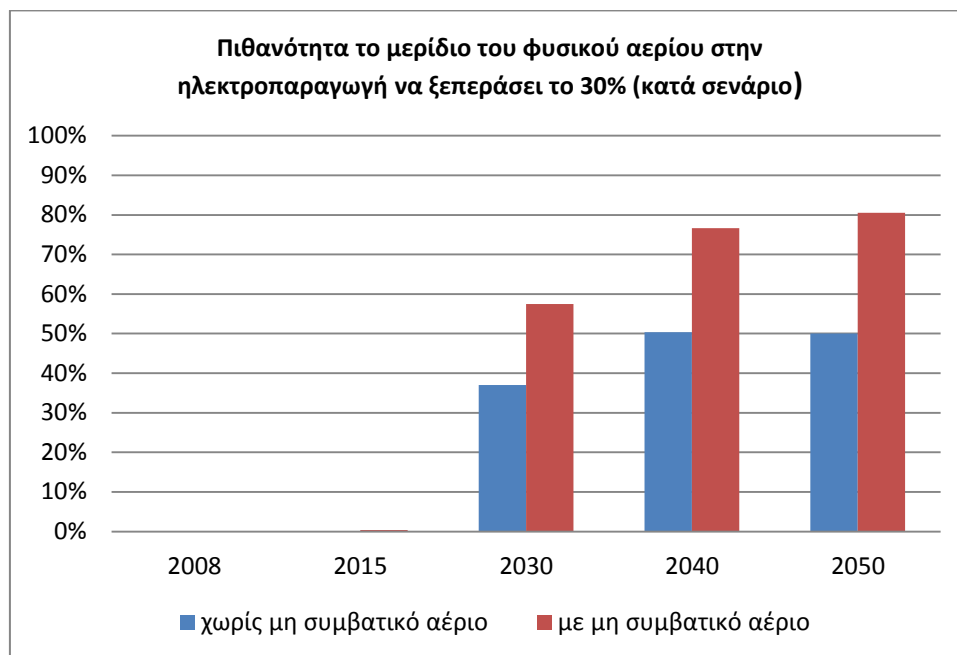
Στο παρακάτω διάγραμμα συνοψίζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου για τα μέσα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα δύο εξεταζόμενα σεναρία τα έτη 2030 και 2050.



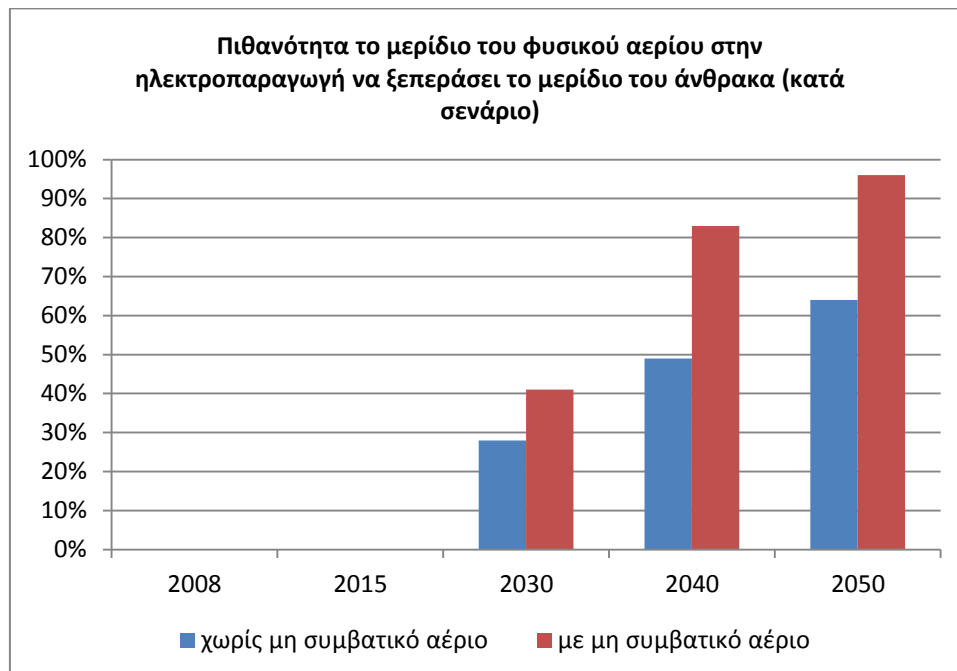
Διάγραμμα 4.12: Μέσα μερίδια κύριων καυσίμων στην ηλεκτροπαραγωγή στα δύο σεναρία (%)

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου για τα δύο εξεταζόμενα σεναρία, προκύπτει ότι το φυσικό αέριο στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου έχει περισσότερες πιθανότητες να είναι το κυρίαρχο καύσιμο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο θα καλύψει τις αυξανόμενες ανάγκες σε ηλεκτρισμό το διάστημα 2008-2050. Επίσης, οι πιθανότητες είναι μεγαλύτερες στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το φυσικό αέριο να υποκαταστήσει τον άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο κύριος λόγος του αυξημένου μεριδίου του φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς είναι οι μειωμένες τιμές φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

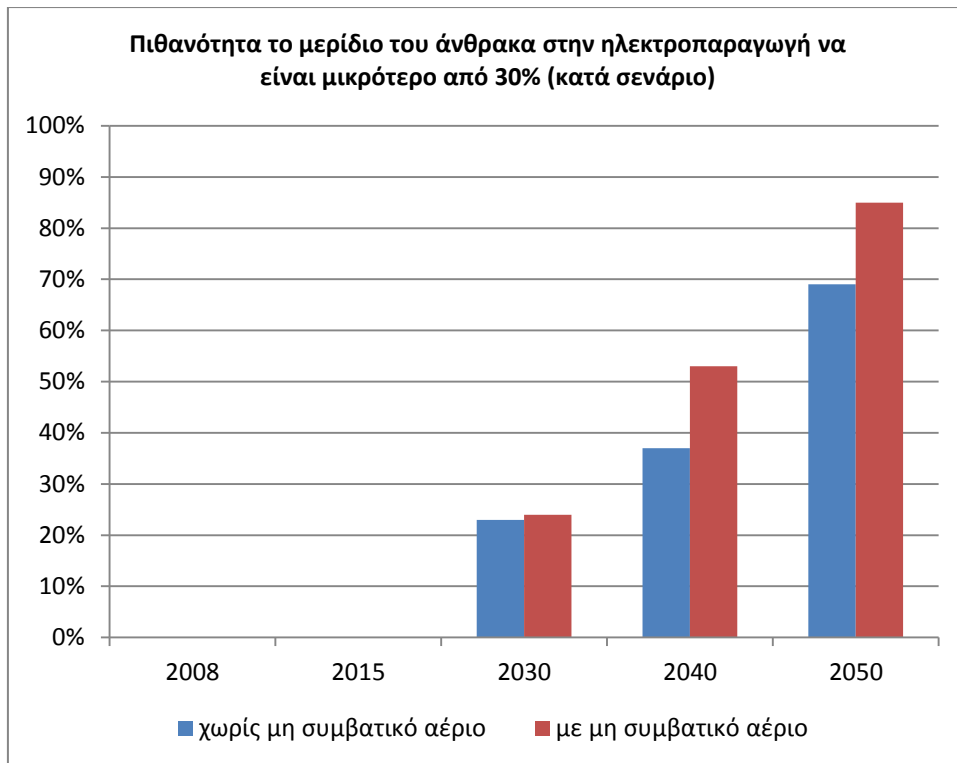
Αυτή η στροφή προς το φυσικό αέριο και η υποκατάσταση του άνθρακα από αυτό αποτυπώνεται στα παρακάτω διαγράμματα.



Διάγραμμα 4.13: Πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να ξεπεράσει το 30% στα δύο σενάρια (%)



Διάγραμμα 4.14: Πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να ξεπεράσει το μερίδιο του άνθρακα στα δύο σενάρια (%)

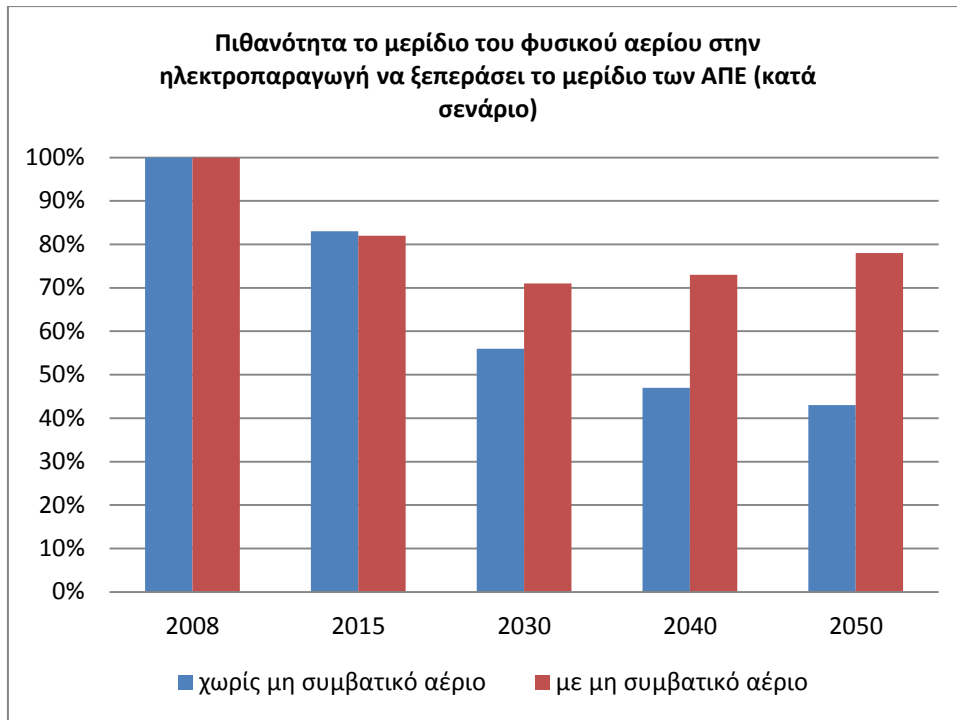


Διάγραμμα 4.15: Πιθανότητα το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να είναι μικρότερο από 30% στα δύο σενάρια (%)

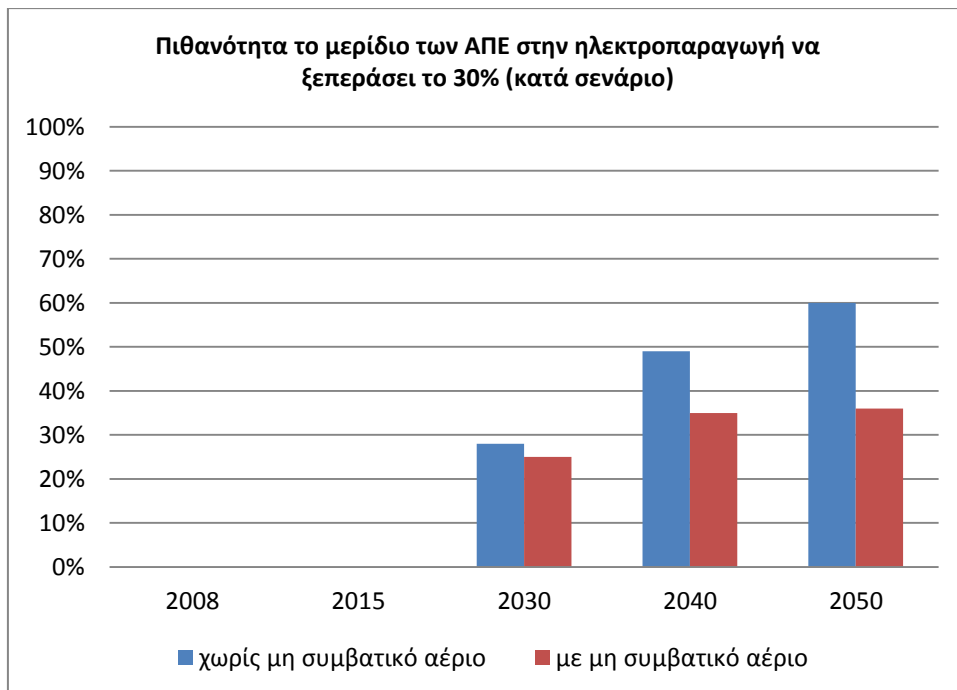
Ωστόσο, από την άλλη πλευρά, αυτή η μεγαλύτερη στροφή προς την υποκατάσταση του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φυσικό αέριο στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου που περιλαμβάνεται στα περιβαλλοντικά μέτρα μείωσης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα οδηγεί σε μείωση των επενδύσεων στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τελικά σε μείωση της διείσδυσης τους στο ενεργειακό μείγμα.

Αυτό φαίνεται και στα αποτελέσματα του μοντέλου για το σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου που είναι μεγαλύτερες οι πιθανότητες το φυσικό αέριο να αντλήσει μερίδιο από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι οποίες κατέχουν σημαντικό ρόλο σε μια οικονομία μειωμένων εκπομπών ρύπων. Το φαινόμενο αυτό γίνεται πιο έντονο όσο πλησιάζουμε προς το 2050.

Η κατάσταση αυτή αποτυπώνεται στα παρακάτω διαγράμματα:



Διάγραμμα 4.16: Πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να ξεπεράσει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δύο σενάρια (%)



Διάγραμμα 4.17: Πιθανότητα το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να ξεπεράσει το 30% στα δύο σενάρια (%)

Η διαφορά που εντοπίζεται ανάμεσα στα δύο σενάρια οφείλεται στο γεγονός ότι η προσθήκη των αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου οδηγεί σε μια μεγαλύτερη προσφορά φυσικού αερίου και σε έναν μεγαλύτερο λόγο αποθεμάτων προς παραγωγή του. Αυτός με τη σειρά του οδηγεί σε μειωμένες συγκριτικά τιμές φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς και επομένως η ζήτηση στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου για φυσικό αέριο αυξάνεται. Επομένως εξαιτίας αυτής της διαφοράς στις τιμές φυσικού αερίου παρατηρείται μια μεγαλύτερη στροφή προς τη χρήση φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

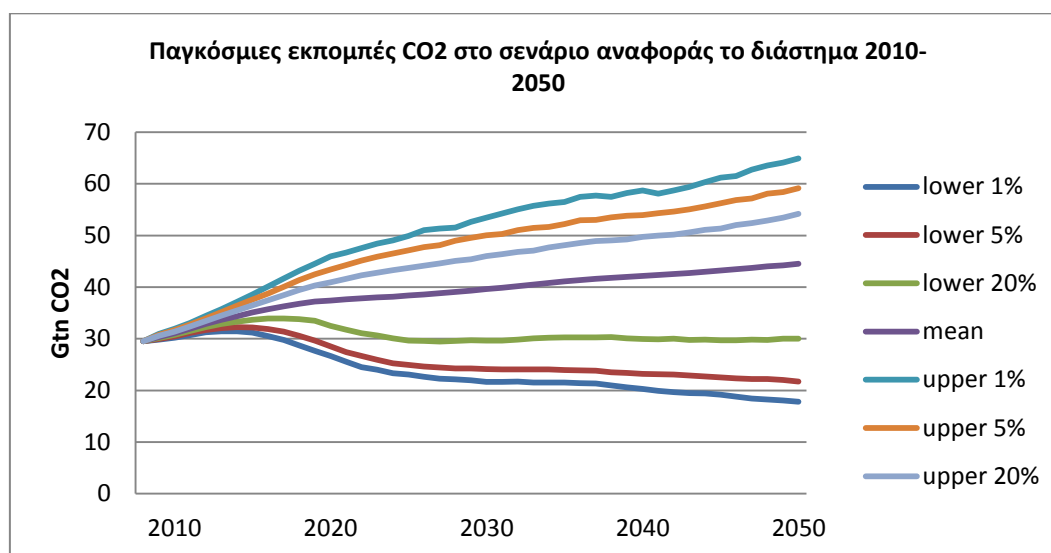
Γενικά, και στα δύο σενάρια παρατηρούμε ότι υπάρχει τάση στο μέλλον υποκατάστασης της καύσης άνθρακα με φυσικό αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή. Μια σειρά από παράγοντες έχουν οδηγήσει σε αυτή την κατάσταση. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 και του 2000, το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το φυσικό αέριο μειώθηκε με την αυξημένη χρήση των στροβίλων αερίου συνδυασμένου κύκλου. Η επέκταση του δικτύου αγωγών φυσικού αερίου επίσης μείωσε την αβεβαιότητα που αφορούσε τη διαθεσιμότητα του. Επιπρόσθετα, άλλοι παράγοντες εκτός από τις τιμές των καυσίμων έπαιξαν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θα χρησιμοποιούνται. Ένας από αυτούς είναι η διαθεσιμότητα δυναμικού παραγωγής. Μεταξύ του 2000 και 2012, η δυναμικότητα παραγωγής του φυσικού αερίου αυξήθηκε κατά 96% [EIA, 2012]. Αντίθετα, οι προσθήκες στη δυναμικότητα του άνθρακα ήταν σχετικά ασήμαντες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Άλλοι παράγοντες περιλαμβάνουν λειτουργικά κόστη, τιμές εκπομπής και κόστος αποζημίωσης, περιορισμούς μετάδοσης στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και απαιτήσεις αξιοπιστίας.

Επιπλέον, και στα δύο σενάρια παρατηρούμε ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην μεταμόρφωση του ενεργειακού συστήματος και στις περιβαλλοντικές προσπάθειες μείωσης των εκπομπών CO₂ αυξάνοντας σημαντικά το μερίδιό τους στο διάστημα 2008-2050 στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

4.5. Παγκόσμιες εκπομπές CO₂

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του στοχαστικού μοντέλου PROMHΘΕΑΣ, στο σενάριο αναφοράς, οι εκπομπές CO₂ αυξάνονται το διάστημα 2010-2020 με μέσο ετήσιο ρυθμό 1,8% ενώ το διάστημα 2020-2050 αυξάνονται με μέσο ετήσιο ρυθμό 0,5%. Η διαφορά αυτή στους μέσους ετήσιους ρυθμούς αύξησης οφείλεται στο γεγονός ότι μετά το 2020 γίνονται πιο έντονες οι κλιματικές πολιτικές για περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με το φυσικό αέριο να υποκαθιστά τον άνθρακα (κυρίως στην ηλεκτροπαραγωγή) και με την αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς η τεχνολογική πρόοδος βελτιώνει τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά τους, ενώ η αύξηση των διεθνών τιμών των ορυκτών καυσίμων αυξάνει το κόστος τους. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης των εκπομπών CO₂ στο διάστημα πρόβλεψης του μοντέλου 2010-2050 είναι 0,9% ενώ η πιθανότητα να ξεπεράσει το 1,5% είναι 15%. Οι εκπομπές CO₂ το 2010 ανέρχονται σε 31,1 Gtn ενώ το 2050 οι μέσες εκπομπες CO₂ είναι 44,5 Gtn. Ο κύριος λόγος αύξησης των εκπομπών CO₂ είναι οι αυξανόμενες παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες εξαιτίας της οικονομικής ανάπτυξης και της αύξησης του πληθυσμού. Επίσης η βελτίωση των συνθηκών ζωής στις αναπτυσσόμενες χώρες (Ινδία, Αφρική, Κίνα) οδηγεί σε μεγαλύτερες καταναλώσεις καυσίμων (ιδιαίτερα πετρελαίου αφού ο αριθμός των αυτοκινήτων αυξάνεται πολύ καθώς και άνθρακα και αερίου για ηλεκτροπαραγωγή). Η πιθανότητα οι εκπομπές στο πρώτο σενάριο το 2020 να ξεπεράσουν τα επίπεδα του 2010 είναι 84% ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα το 2050 είναι 80%.

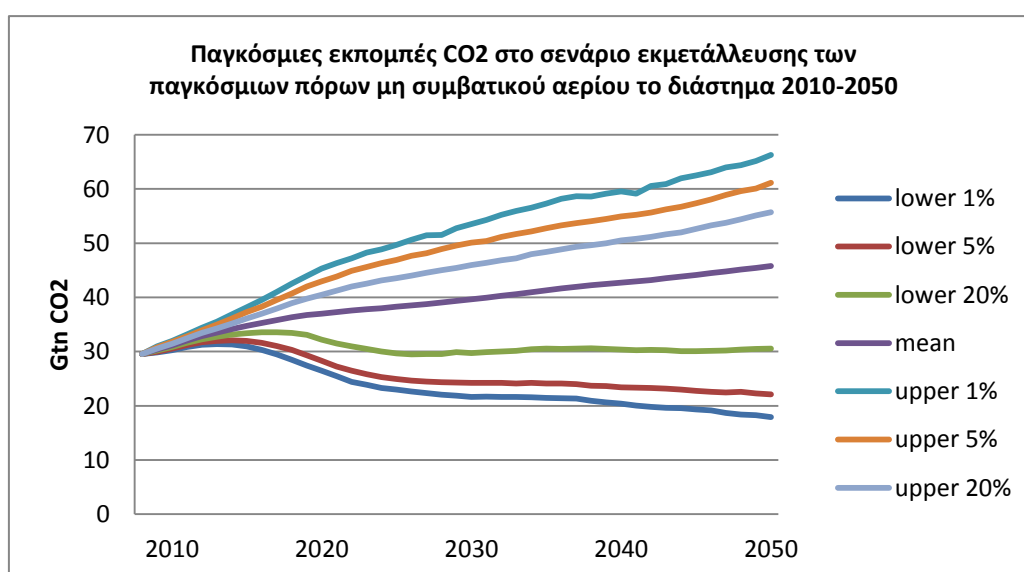
Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι εκπομπές (μέσες τιμές και ποσοστημόρια) στο σενάριο αναφοράς κατά τη διάρκεια του ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου.



Διάγραμμα 4.18: Παγκόσμιες εκπομπές CO₂ (μέση τιμή και ποσοστημόρια) στο σενάριο αναφοράς το διάστημα 2010-2050 (σε Gtn CO₂)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου, στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, οι εκπομπές CO₂ αυξάνονται το διάστημα 2010-2020 με μέσο ετήσιο ρυθμό 1,7% ενώ το διάστημα 2020-2050 αυξάνονται με μέσο ετήσιο ρυθμό 0,6%. Το διάστημα 2010-2050 ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης των εκπομπών CO₂ είναι 0,9%, ενώ η πιθανότητα ο μέσος ετήσιος ρυθμός να ξεπεράσει το 1,5% είναι αυξημένη κατά 5% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Η πιθανότητα οι εκπομπές το 2020 να ξεπεράσουν τις αντίστοιχες του 2010 είναι 83% ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα το 2050 είναι 80%.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι εκπομπές (μέσες τιμές και ποσοστημόρια) στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου κατά τη διάρκεια του ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου.



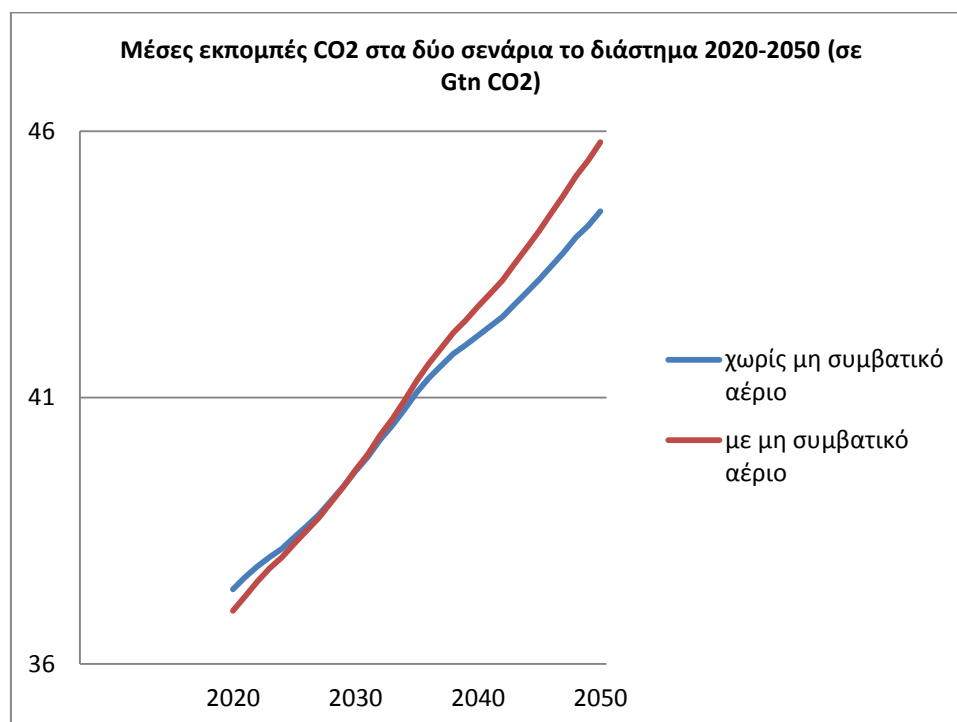
Διάγραμμα 4.19: Παγκόσμιες εκπομπές CO₂ (μέση τιμή και ποσοστημόρια) στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το διάστημα 2010-2050 (σε Gtn CO₂)

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις συνοπτικές στατιστικές για τις εκπομπές CO₂ το 2030 και το 2050 που προκύπτουν από το μοντέλο για τα δύο σενάρια.

	2030		2050	
	χωρίς μη συμβατικό αέριο	με μη συμβατικό αέριο	χωρίς μη συμβατικό αέριο	με μη συμβατικό αέριο
Mean	39.6	39.6	44.5	45.8
Median	41.9	41.9	47.7	49.3
Std. Dev.	8.2	8.2	12.1	12.6
lower 5%	24.1	24.2	21.7	22.1
upper 5%	50	50.1	59.1	61.1

Πίνακας 4.16: Συνοπτικά στατιστικά για τις παγκόσμιες εκπομπές CO₂ στα δύο σενάρια το 2030 και το 2050 (σε Gtn CO₂)

Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει τις μέσες εκπομπές CO₂ κατά σενάριο το διάστημα 2020-2050.

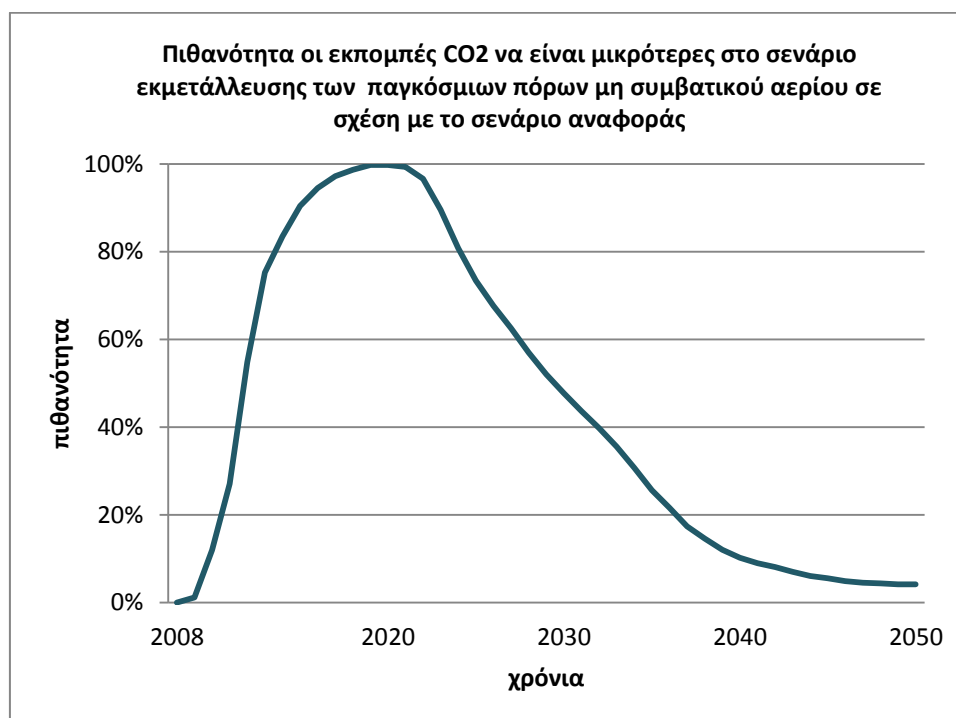


Διάγραμμα 4.20: Μέσες εκπομπές CO₂ στα δύο σενάρια το διάστημα 2020-2050 (σε Gtn CO₂)

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου για τις εκπομπές CO₂ στα δύο εξεταζόμενα σενάρια, προκύπτει ότι οι μέσες εκπομπές CO₂ στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι αυξημένες σε σχέση με το σενάριο αναφοράς από το 2020 μέχρι το 2050. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ενώ βραχυπρόθεσμα η αύξηση της ζήτησης του φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου οδηγεί σε μείωση των μέσων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα καθώς υποκαθιστά τα ρυπογόνα καύσιμα (άνθρακα, πετρέλαιο) σε όλους τους ενεργειακούς τομείς (βιομηχανικό, οικιακό, εμπορικό, ηλεκτροπαραγωγή), μακροπρόθεσμα όμως η αυξανόμενη ζήτηση φυσικού αερίου (κυρίως στην ηλεκτροπαραγωγή) μειώνει την διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολική, βιομάζα, υδροηλεκτρική, φωτοβολταϊκά) και της πυρηνικής ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνονται οι μέσες εκπομπές CO₂ το διάστημα 2020-2050.

Όπως φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα, οι παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στο σενάριο με το μη συμβατικό αέριο είναι μικρότερες μέχρι το 2020 σε σχέση με το σενάριο αναφοράς (πιθανότητα=100%). Όμως η πιθανότητα μείωσης των παγκόσμιων εκπομπών μικραίνει από το 2020 (υποκατάσταση ΑΠΕ και πυρηνικής ενέργειας από φυσικό αέριο) και το 2030 είναι 48%, ενώ το 2050 είναι μόλις 4%.

Δηλαδή, μακροπρόθεσμα η παραγωγή μη συμβατικού αερίου αυξάνει τις παγκόσμιες εκπομπές CO₂.



Διάγραμμα 4.21: Πιθανότητα οι εκπομπές CO₂ να είναι μικρότερες στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς(%)

4.6. Πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου, άνθρακα και πετρελαίου στην Ευρώπη

- Πρωτογενής Ζήτηση Φυσικού Αερίου

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου, η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στο σενάριο αναφοράς σημειώνει μέση ετήσια αύξηση μόλις 0,08% το διάστημα 2010-2050 ενώ έχει πιθανότητα 22% η μέση ετήσια αύξηση να ξεπεράσει το 0,5%. Το 2010 η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη ανέρχεται σε 453 Mtoe. Το 2030 η μέση πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη ανέρχεται σε 459 Mtoe, αυξημένη κατά 1% σε σχέση με την αντίστοιχη του 2010, ενώ το 2050 ανέρχεται σε 478 Mtoe, αυξημένη κατά 6% σε σχέση με την αντίστοιχη του 2010. Η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη το 2030 να ξεπεράσει την αντίστοιχη του 2010 είναι 52% ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα το 2050 είναι 57%. Η αύξηση στην πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη το διάστημα 2010-2050 οφείλεται κυρίως στην αυξανόμενη ζήτηση του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Παρακάτω δίνονται τα συνοπτικά στατιστικά που προκύπτουν από το μοντέλο για την πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στο σενάριο αναφοράς για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040, 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	453	450	459	486	478
Median		450	456	479	470
St.Dev.		45	68	85	105
Lower 5%		373	352	358	318
Upper 5%		522	570	631	658

Πίνακας 4.17: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στο σενάριο αναφοράς (σε Mtoe)

Στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη σημειώνει μέση ετήσια αύξηση 0,5% (σε σχέση με 0,08% στο σενάριο αναφοράς). Το 2030 η μέση πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη ανέρχεται σε 490 Mtoe, αυξημένη κατά 8% σε σχέση με την αντίστοιχη του 2010 και το 2050 ανέρχεται σε 556 Mtoe, αυξημένη κατά 23% σε σχέση με την αντίστοιχη του 2010. Η πιθανότητα το 2030 η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη να ξεπεράσει την αντίστοιχη του 2010 είναι 71% ενώ το 2050 η αντίστοιχη πιθανότητα είναι 80%.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα συνοπτικά στατιστικά που προκύπτουν από το μοντέλο για την πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040, 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	453	464	490	543	556
Median		465	488	538	550
St.Dev.		48	73	95	120
Lower 5%		383	369	398	366
Upper 5%		541	609	705	757

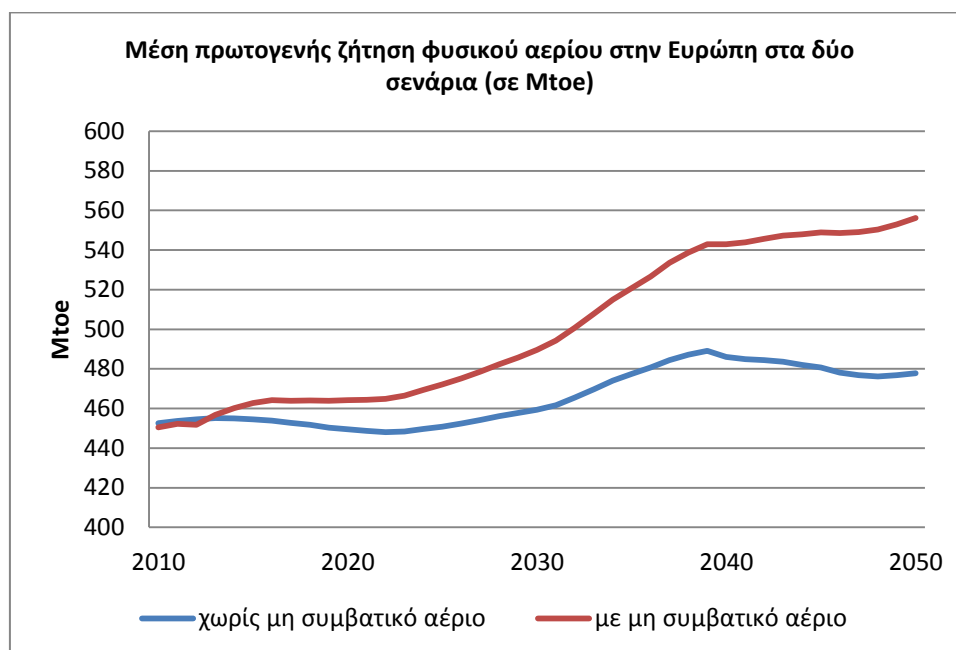
Πίνακας 4.18: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε Mtoe)

Συγκρίση Αποτελεσμάτων

Στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου η ετήσια αύξηση της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου στην Ευρώπη έχει πιθανότητα 88% να ξεπεράσει την αντίστοιχη στο σενάριο αναφοράς.

Επίσης, στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου οι μέσες τιμές της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου στην Ευρώπη είναι υψηλότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες του σεναρίου αναφοράς το διάστημα 2015-2050. Χαρακτηριστικά, το 2030 η μέση πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου ανέρχεται σε 490 Mtoe, αυξημένη κατά 7% σε σχέση με την αντίστοιχη στο σενάριο αναφοράς, ενώ το 2050 ανέρχεται σε 556 Mtoe, αυξημένη κατά 16% σε σχέση με την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς. Επιπλέον, η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στο σενάριο που προσθέσαμε τα αποθέματα μη συμβατικού αερίου να είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς είναι σχεδόν 100% όλο το διάστημα πρόβλεψης του μοντέλου. Ο κύριος λόγος της διαφοράς στην πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς είναι η μειωμένη τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη στο σενάριο αυτό σε σχέση με το σενάριο αναφοράς καθώς η μεγαλύτερη προσφορά φυσικού αερίου οδηγεί σε μικρότερη παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου που με την σειρά της οδηγεί σε μειωμένη τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη. (Η τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη παρουσιάζει ισχυρή θετική συσχέτιση με την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου). Επομένως, η μείωση της τιμής του φυσικού αερίου στην Ευρώπη οδηγεί σε αύξηση της πρωτογενούς ζήτησης για φυσικό αέριο στην Ευρώπη.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η μέση πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο εξεταζόμενα σενάρια το διάστημα 2010-2050.



Διάγραμμα 4.22: Μέση πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (σε Mtoe)

- **Πρωτογενής Ζήτηση Άνθρακα**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου στο σενάριο αναφοράς, η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη σημειώνει μέση ετήσια μείωση 0,24% το διάστημα 2010-2050 ενώ έχει πιθανότητα 36% η μέση ετήσια μείωση να ξεπεράσει το 0,5%. Η μεγαλύτερη μείωση στην πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη σημειώνεται το διάστημα 2010-2020 καθώς η μέση πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη μειώνεται κατά 24%, από 279 Mtoe το 2010 σε 213 Mtoe το 2020. Ο κύριος λόγος της μεγάλης αυτής μείωσης αυτή την δεκαετία είναι η κλιματική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης που έχει θέσει ως στόχο να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO₂ κατά 20% έως το 2020 σε σχέση με το 1990. Το 2030 η μέση πρωτογενής ζήτηση άνθρακα ανέρχεται σε 226 Mtoe, μειωμένη κατά 19% σε σχέση με τη αντίστοιχη του 2010, και το 2050 αυξάνεται σε 270 Mtoe, μειωμένη κατά 3% σε σχέση με την αντίστοιχη του 2010. Η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη αυξάνεται το διάστημα 2030-2050 κυρίως λόγω της μεγάλης αύξησης της ζήτησης της Ευρώπης σε ηλεκτρική ενέργεια και της σχετικά χαμηλής τιμής του άνθρακα σε σχέση με τα άλλα καύσιμα. Καθώς ο άνθρακας αποτελεί μια βασική πηγή για την ηλεκτροπαραγωγή αυξάνεται η ζήτηση του αυτό το διάστημα προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη. Η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη να είναι μικρότερη το 2030 σε σχέση με το 2010 είναι 70% ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα το 2050 είναι 56%.

Παρακάτω δίνονται τα συνοπτικά στατιστικά που προκύπτουν από το μοντέλο για την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη στο σενάριο αναφοράς για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040, 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	279	213	226	253	270
Median		247	239	250	262
St.Dev.		91	88	84	92
Lower 5%		50	76	123	132
Upper 5%		313	356	393	430

Πίνακας 4.19: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη στο σενάριο αναφοράς (σε Mtoe)

Στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη σημειώνει μέση ετήσια μείωση 0,4% το διάστημα 2010-2050. Το 2010 η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη ανέρχεται σε 279 Mtoe. Το διάστημα 2010-2020 σημειώνεται η μεγαλύτερη μείωση στην πρωτογενή ζήτηση άνθρακα κυρίως λόγω της κλιματικής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το 2020 η μέση πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη ανέρχεται σε 202 Mtoe, μειωμένη κατά 28% σε σχέση με την αντίστοιχη του 2010. Το 2030 η μέση πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη αυξάνεται λίγο από τα επίπεδα του 2020 φτάνοντας τα 215 Mtoe, όμως είναι 23% χαμηλότερα από την αντίστοιχη του 2010. Το 2050 η μέση πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη ανέρχεται σε 256 Mtoe, μειωμένη κατά 8% σε σχέση με την αντίστοιχη του 2010. Η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα αυξάνεται το διάστημα 2030-2050 για να καλύψει την μεγάλη αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα συνοπτικά στατιστικά που προκύπτουν από το μοντέλο για την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040, 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	279	202	215	240	256
Median		234	228	237	250
St.Dev.		86	84	80	87
Lower 5%		48	72	115	128
Upper 5%		297	339	372	410

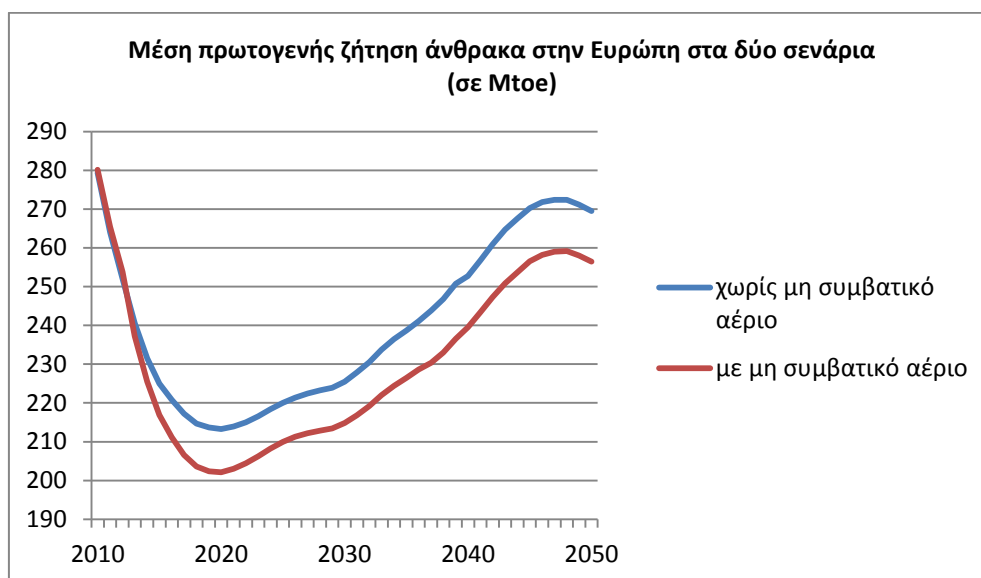
Πίνακας 4.20: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε Mtoe)

Σύγκριση αποτελεσμάτων

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου για την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη στα δύο εξεταζόμενα σενάρια παρατηρούμε ότι η μέση ετήσια μείωση της πρωτογενούς ζήτησης άνθρακα στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι διπλάσια σε σχέση με την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς. Ο κύριος λόγος αυτής της διαφοράς είναι η αυξημένη ζήτηση φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς καθώς το φυσικό αέριο υποκαθιστά τον άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή.

Επίσης, παρατηρούμε ότι όλο το διάστημα μετά το 2010, οι μέσες τιμές της πρωτογενούς ζήτησης άνθρακα στην Ευρώπη είναι μικρότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες του σεναρίου αναφοράς. Χαρακτηριστικά, το 2030, η μέση πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι 215 Mtoe, μειωμένη κατά 5% σε σχέση με την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς, και το 2050 ανέρχεται σε 256 Mtoe, μειωμένη πάλι κατά 5% σε σχέση με την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς.

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει την εξέλιξη της μέσης πρωτογενούς ζήτησης άνθρακα στην Ευρώπη το διάστημα 2010-2050 στα δύο εξεταζόμενα σενάρια.



Διάγραμμα 4.23: Μέση πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (σε Mtoe)

Η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση άνθρακα στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου να είναι μικρότερη της αντίστοιχης στο σενάριο αναφοράς το 2020 είναι 100%, το 2030 95%, το 2040 90% και το 2050 85%.

- **Πρωτογενής Ζήτηση Πετρελαίου**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου στο σενάριο αναφοράς, η πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη σημειώνει μέση ετήσια μείωση 0,8% το διάστημα 2010-2050, ενώ η πιθανότητα η ετήσια μείωση να ξεπεράσει το 1% είναι 34%. Το 2010 η πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη ανέρχεται σε 678 Mtoe. Το 2030 η μέση πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη ανέρχεται σε 608 Mtoe, μειωμένη κατά 10% σε σχέση με το 2010, και το 2050 ανέρχεται σε 497 Mtoe, μειωμένη κατά 27% σε σχέση με το 2010. Οι κύριοι λόγοι της μείωσης της πρωτογενούς ζήτησης πετρελαίου στην Ευρώπη το διάστημα 2010-2050 είναι η αύξηση της τιμής του πετρελαίου, η κλιματική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για περιορισμό των εκπομπών CO₂, αλλά και οι νέες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στα αυτοκίνητα με αποτέλεσμα να μειώνεται η κατανάλωση πετρελαίου. Η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη το 2030 να είναι μικρότερη από αυτή του 2010 είναι 80% ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα το 2050 είναι 95%.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα συνοπτικά στατιστικά που προκύπτουν από το μοντέλο για την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη στο σενάριο αναφοράς για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040, 2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	678	614	608	557	497
Median		626	607	556	498
St.Dev.		87	82	86	107
Lower 5%		457	479	419	323
Upper 5%		740	745	700	674

Πίνακας 4.21: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη στο σενάριο αναφοράς (σε Mtoe)

Στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, η πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη ακολουθεί παρόμοια πορεία με αυτή του σεναρίου αναφοράς. Η μέση ετήσια μείωση στην ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη είναι 0,8% ενώ η πιθανότητα η ετήσια μείωση να ξεπεράσει το 1% είναι 36%. Η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη το 2030 να είναι μικρότερη από αυτή του 2010 είναι 82% ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα το 2050 είναι 96%,

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα συνοπτικά στατιστικά που προκύπτουν από το μοντέλο για την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου για τα έτη 2010, 2020, 2030, 2040, 2050.

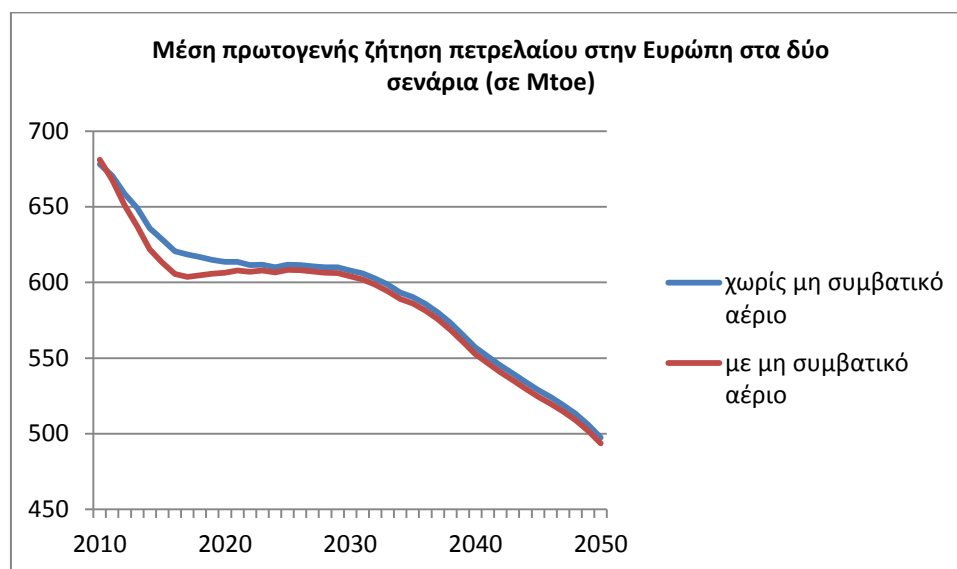
	2010	2020	2030	2040	2050
Mean	678	606	604	553	494
Median		619	604	552	495
St.Dev.		86	82	85	105
Lower 5%		451	476	417	322
Upper 5%		732	739	695	669

Πίνακας 4.22: Συνοπτικά στατιστικά για την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου (σε Mtoe)

Σύγκριση αποτελεσμάτων

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου για την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη στα δύο εξεταζόμενα σενάρια, παρατηρούμε ότι η μέση πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι ελαφρώς χαμηλότερη σε σχέση με την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς όλο το διάστημα 2010-2050. Χαρακτηριστικά, το 2030, η μέση πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι 604 Mtoe, μειωμένη κατά 0,7% σε σχέση με την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς, και το 2050 ανέρχεται σε 494 Mtoe, μειωμένη κατά μόλις 0,6% σε σχέση με την αντίστοιχη στο σενάριο αναφοράς. Ο κύριος λόγος αυτής της πολύ μικρής διαφοράς στην πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου στα δύο σενάρια σε σχέση μάλιστα με τις διαφορές των δύο σεναρίων στην πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου και άνθρακα είναι ότι το πετρέλαιο χρησιμοποιείται κυρίως στις μεταφορές, και δεν ανταγωνίζεται πολύ με τα άλλα καύσιμα στους άλλους τομείς της ενέργειας. Επομένως η εκμετάλλευση των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου έχει μικρή επίδραση στην πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου.

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει την εξέλιξη της μέσης πρωτογενούς ζήτησης πετρελαίου στην Ευρώπη το διάστημα 2010-2050 στα δύο εξεταζόμενα σενάρια.



Διάγραμμα 4.24: Μέση πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (σε Mtoe)

Η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου να είναι μικρότερη της αντίστοιχης στο σενάριο αναφοράς το 2020 είναι 97%, το 2030 88%, το 2040 90% και το 2050 81%.

4.7.Μερίδια κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της βάσης δεδομένων του μοντέλου ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ, το 2008, η πυρηνική ενέργεια αποτελεί το κυρίαρχο καύσιμο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη με μερίδιο 27,1%. Ακολουθεί ο άνθρακας με μερίδιο 26,3% ενώ χαμηλότερα μερίδια στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη κατέχουν το φυσικό αέριο με 22% και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική, βιομάζα) με 21,7%. Το μικρότερο μερίδιο κατέχει το πετρέλαιο με 3%.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη το 2008.

2008

	coal	gas	oil	nuclear	renewables
Μερίδια (%)	26.3%	22.0%	2.9%	27.1%	21.7%

Πίνακας 4.23: Μερίδια των κύριων καυσίμων στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη το 2008 (%)

Σενάριο αναφοράς

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου, στο σενάριο αναφοράς, η Ευρώπη εκμεταλλεύεται τις τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού, (κυρίως της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας) λόγω ισχυρών κυβερνητικών προγραμμάτων και κινήτρων. Επίσης στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα με σκοπό την αύξηση της ενεργειακής της ασφάλειας μέσω της μείωσης των εισαγωγών φυσικού αερίου και πετρελαίου. Αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη το διάστημα 2020-2050. Το μέσο μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη το 2030 είναι 38,5% και το 2050 είναι 35%.

Το φυσικό αέριο αυξάνει το μέσο μερίδιο του στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2030 σε 25%, από 22% το 2008 ενώ το 2050 μειώνεται σε 24,2%. Το φυσικό αέριο, παρά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω του χαμηλού κεφαλαιουχικού κόστους και της μεγάλης λειτουργικής ευελιξίας, διατηρεί το μερίδιο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη σε σταθερά επίπεδα σε όλο τον ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου κυρίως λόγω των υψηλών τιμών φυσικού αερίου που επικρατούν στην Ευρώπη.

Η πυρηνική ενέργεια χάνει σημαντικό κομμάτι του μέσου μεριδίου της στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη, καθώς από 27,1% το 2008, το μέσο μερίδιο μειώνεται σε 15,4% το 2030 και πέφτει ακόμα χαμηλότερα το 2050 καθώς η πυρηνική ενέργεια κατέχει μέσο μερίδιο 13,3% στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη. Αυτή η μείωση του μέσου μεριδίου της πυρηνικής ενέργειας οφείλεται κυρίως στην απόσυρση πολλών εργοστασίων πυρηνικής ενέργειας αλλά και στην σταδιακή κατάργηση και ακύρωση όλων των υφιστάμενων και μελλοντικών αντιδραστήρων σε πολλές χώρες της Ευρώπης μετά το ατύχημα στην Φουκουσίμα. Πολλές χώρες της ΕΕ έχουν απαγορεύσει ολοκληρωτικά την εκμετάλλευση των πυρηνικών (Αυστρία, Κύπρος, Δανία, Εσθονία, Ελλάδα, Ιρλανδία, Ιταλία, Λετονία, Λουξεμβούργο, Κροατία, Μάλτα και Πορτογαλία) ενώ η Γερμανία και το Βέλγιο κλείνουν εργοστάσια πυρηνικών.

Το μέσο μερίδιο του πετρελαίου στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη μειώνεται από 2,9% το 2008, σε 0,7% το 2030 και 0,3% το 2050 καθώς οι τιμές διοξειδίου του άνθρακα που επιβάλλονται στην Ευρώπη καθιστούν την ηλεκτροπαραγωγή από το πετρέλαιο μη ανταγωνιστική σε σχέση με άλλα καύσιμα.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σενάριο αναφοράς το 2030 και το 2050.

	2030				
	coal	gas	oil	nuclear	renewables
Mean	20.2%	25.0%	0.7%	15.4%	38.5%
Median	21.6%	25.0%	0.5%	14.0%	36.5%
Std. Dev.	8.1%	4.9%	0.6%	3.6%	7.2%
lower 5%	6.2%	17.3%	0.2%	11.6%	29.5%
upper 5%	31.6%	32.9%	1.8%	22.6%	52.9%
share in 2008	26.3%	22.0%	2.9%	27.1%	21.7%
% διαφορά σε σχέση με το 2008	-23%	14%	-76%	-43%	77%

Πίνακας 4.24: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρισμού στο σενάριο αναφοράς το 2030 (%).

	2050				
	coal	gas	oil	nuclear	renewables
Mean	21.9%	24.2%	0.3%	13.3%	35.0%
Median	21.5%	23.9%	0.2%	11.1%	34.7%
Std. Dev.	8.3%	7.5%	0.4%	6.9%	4.6%
lower 5%	9.0%	12.5%	0.0%	6.5%	27.8%
upper 5%	35.6%	37.0%	1.0%	27.4%	42.8%
share in 2008	26.3%	22.0%	2.9%	27.1%	21.7%
% διαφορά σε σχέση με το 2008	-17%	10%	-90%	-51%	61%

Πίνακας 4.25: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρισμού στο σενάριο αναφοράς το 2050 (%).

Σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν την κυρίαρχη πηγή παραγωγής ηλεκτρισμού με μέσο μερίδιο 37,6% το 2030. Το 2050, το μέσο μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται σε 33,2%, κυρίως λόγω της μείωσης της τιμής φυσικού αερίου στην Ευρώπη που οδηγεί σε αύξηση της ζήτησης φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή. Η μεγάλη διεύρυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη συνδέεται με την κλιματική πολιτική της Ευρώπης για περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και εκμετάλλευση των ενδογενών πηγών ενέργειας.

Το φυσικό αέριο αυξάνει σημαντικά το μέσο μερίδιο του στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη από 22% το 2008, σε 27,6% το 2030 και 30,1% το 2050. Η αύξηση του μέσου μεριδίου του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή στο σενάριο αυτό οφείλεται κυρίως στην μειωμένη σε σχέση με το σενάριο αναφοράς τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Αυτή η διαφορά μεταξύ της τιμής φυσικού αερίου στα δύο σενάρια οδηγεί σε αύξηση της ζήτησης φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς με αποτέλεσμα να αυξάνεται και το μερίδιο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή.

Η πυρηνική ενέργεια χάνει και σε αυτό το σενάριο σημαντικό τμήμα του μεριδίου της στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη καθώς το μέσο μερίδιο της πέφτει από 27,1% το 2008, σε 14,9% το 2030 και σε 10,7% το 2050.

Η χρήση του πετρελαίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πέφτει σημαντικά και σε αυτό το σενάριο καθώς το μέσο μερίδιο του πετρελαίου στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη μειώνεται από 2,9% το 2008, σε 0,6% το 2030 και σε μόλις 0,2% το 2050. Η πτώση αυτή οφείλεται κυρίως στις αυξημένες τιμές πετρελαίου και στην μείωση του σχετικού κόστους των υπόλοιπων πηγών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των πόρων μη συμβατικού αερίου το 2030 και το 2050.

	2030				
	coal	gas	oil	nuclear	renewables
Mean	19.1%	27.6%	0.6%	14.9%	37.6%
Median	20.5%	27.7%	0.5%	13.7%	35.5%
Std. Dev.	7.7%	5.0%	0.5%	3.4%	7.2%
lower 5%	5.8%	19.3%	0.2%	11.4%	28.9%
upper 5%	29.9%	35.5%	1.6%	21.9%	52.4%
share in 2008	26.3%	22.0%	2.9%	27.1%	21.7%
% διαφορά σε σχέση με το 2008	-27%	25%	-79%	-45%	73%

Πίνακας 4.26: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρισμού στο σενάριο εκμετάλλευσης μη συμβατικού αερίου το 2030 (%).

	2050				
	coal	gas	oil	nuclear	renewables
Mean	20.8%	30.1%	0.2%	10.7%	33.2%
Median	20.3%	30.4%	0.1%	9.4%	33.0%
Std. Dev.	7.8%	8.2%	0.3%	4.7%	4.4%
lower 5%	8.7%	15.8%	0.0%	6.0%	26.4%
upper 5%	34.0%	42.7%	0.8%	19.4%	41.0%
share in 2008	26.3%	22.0%	2.9%	27.1%	21.7%
% διαφορά σε σχέση με το 2008	-21%	37%	-93%	-61%	53%

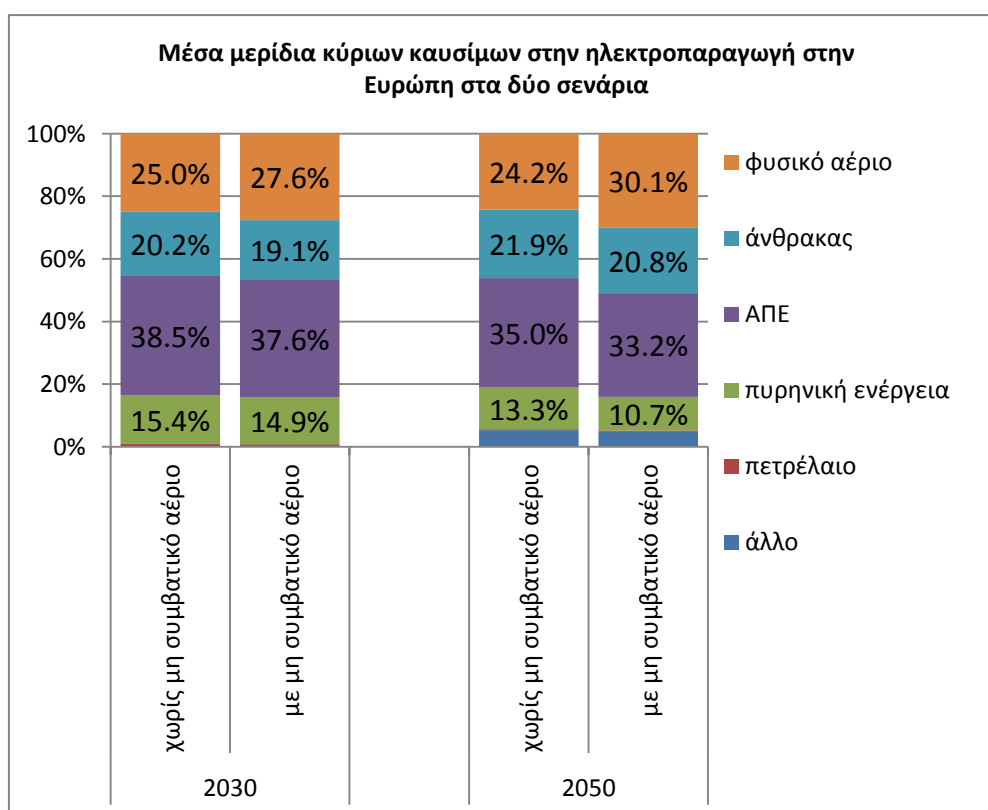
Πίνακας 4.27: Συνοπτικά στατιστικά για τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρισμού στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το 2050 (%).

Σύγκριση αποτελεσμάτων

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου για τα δύο εξεταζόμενα σενάρια, προκύπτει ότι το φυσικό αέριο κατέχει μεγαλύτερο μέσο μερίδιο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς σε όλο τον ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου. Χαρακτηριστικά, στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, το μέσο μερίδιο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή το 2030 ανέρχεται σε 27,6%, ενώ το αντίστοιχο στο σενάριο αναφοράς είναι 25%, και το 2050 το μέσο μερίδιο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη ανέρχεται σε 30,1%, ενώ το αντίστοιχο του σεναρίου αναφοράς είναι 24,2%. Επίσης η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου να ξεπεράσει το αντίστοιχο μερίδιο στο σενάριο αναφοράς είναι σχεδόν 100% σε όλο τον ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου. Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη το 2050 να ξεπεράσει το μερίδιο του το 2010 είναι 84% στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου, ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα στο σενάριο αναφοράς είναι 60%.

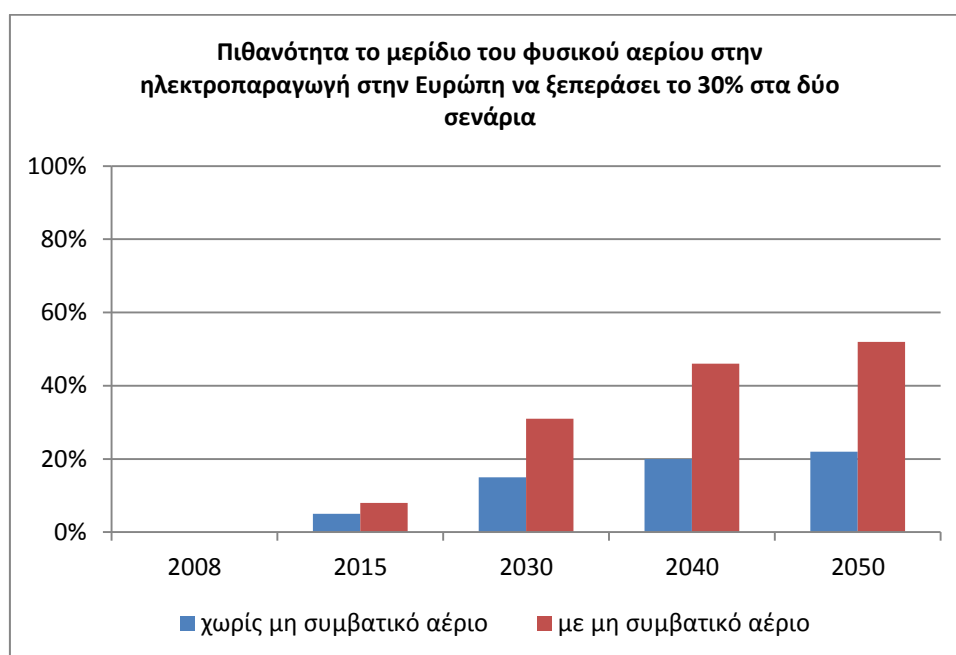
Αυτή η στροφή προς την χρήση φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη οφείλεται κυριώς στην μειωμένη τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη λόγω της μεγαλύτερης προσφοράς φυσικού αερίου στο σενάριο που προσθέσαμε τους πόρους μη συμβατικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, η μεγαλύτερη προσφορά φυσικού αερίου οδηγεί σε συγκριτικά μειωμένες τιμές φυσικού αερίου παγκόσμιως σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Ωστόσο, η τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη παρουσιάζει ισχυρή θετική συσχέτιση με την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου και έτσι ανάλογες διαφορές εντοπίζονται και στις τιμές φυσικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια. Επίσης, η στροφή προς το φυσικό αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου φαίνεται και στην μείωση των μέσων μεριδίων του άνθρακα και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σενάριο αυτό. Χαρακτηριστικά, το μέσο μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του άνθρακα στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου ανέρχεται σε 33,2% και 20,8% αντίστοιχα το 2050, ενώ στο σενάριο αναφοράς τα μέσα μερίδια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του άνθρακα είναι 35% και 21,9% αντίστοιχα.

Η σύγκριση των μέσων μεριδίων των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη στα δύο εξεταζόμενα σενάρια το 2030 και το 2050 παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.25: Μέσα μερίδια κύριων καυσίμων στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (%)

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η πιθανότητα στα δύο σενάρια το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη να ξεπεράσει το 30%.

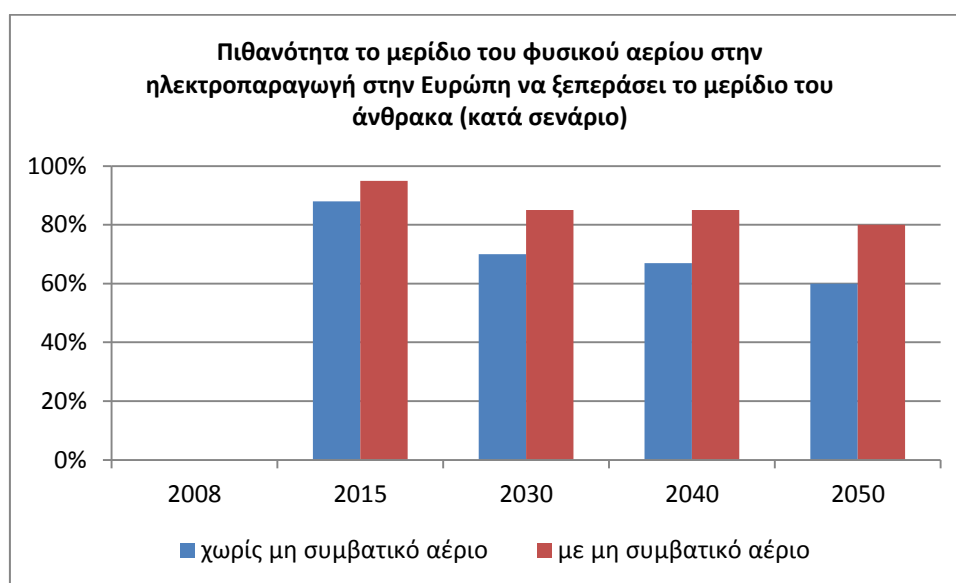


Διάγραμμα 4.26: Πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη να ξεπεράσει το 30% στα δύο σενάρια (%)

Επιπλέον, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου για τα δύο εξεταζόμενα σενάρια, προκύπτει ότι οι πιθανότητες η ζήτηση φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη να ξεπεράσει την ζήτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή είναι περισσότερες στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

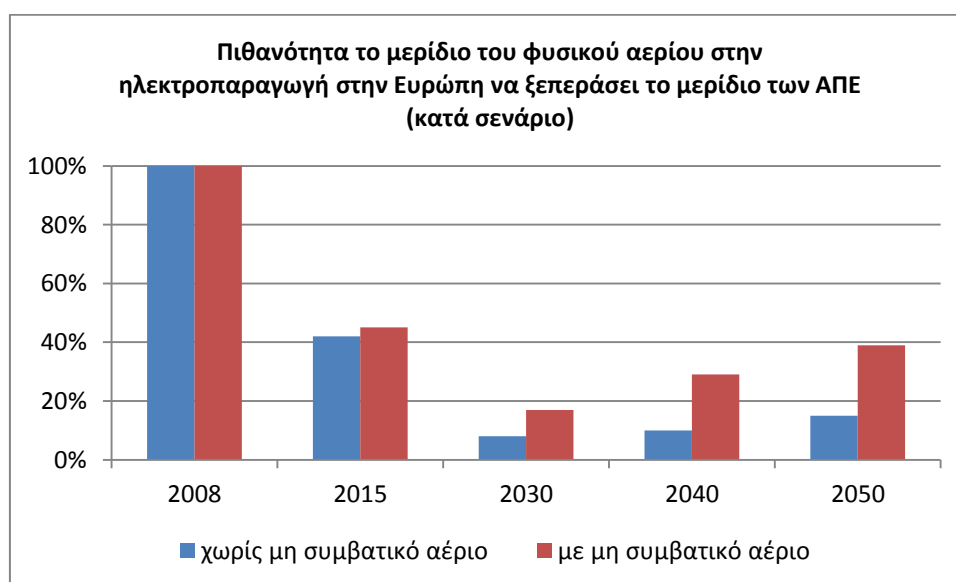
Χαρακτηριστικά, η πιθανότητα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φυσικό αέριο να ξεπεράσει την παραγωγή από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το 2050 είναι 39%, ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα στο σενάριο αναφοράς είναι 15%. Η πιθανότητα η παραγωγή ηλεκτρισμού από φυσικό αέριο να ξεπεράσει την παραγωγή από άνθρακα στην Ευρώπη στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι 80%, ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα στο σενάριο αναφοράς είναι 60%.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη να ξεπεράσει το μερίδιο του άνθρακα στα δύο σενάρια τα έτη 2008, 2015, 2030, 2040 και 2050.



Διάγραμμα 4.27: Πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη να ξεπεράσει το μερίδιο του άνθρακα στα δύο σενάρια (%)

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη να ξεπεράσει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δύο σενάρια τα έτη 2008, 2015, 2030, 2040 και 2050.



Διάγραμμα 4.28: Πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη να ξεπεράσει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δύο σενάρια (%)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΟ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

5.1.Εισαγωγικά

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στις Ηνωμένες Πολιτείες ενίσχυσαν την οικονομική βιωσιμότητα της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου, το οποίο με τη σειρά του έφερε την επανάσταση στην εξαρτημένη από τις εισαγωγές αγορά των ΗΠΑ. Πράγματι, σύμφωνα με τις προβλέψεις της Υπηρεσίας Πληροφοριών Ενέργειας των ΗΠΑ (EIA) το 2012 [32], η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου θα μπορούσε ενδεχομένως να μετατρέψει τις ΗΠΑ σε εξαγωγέα υδροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) μέχρι το 2016, και σε εξαγωγέα φυσικού αερίου μέσω δικτύου αγωγών μέχρι το 2025.

Όπως και οι ΗΠΑ μέχρι πρόσφατα, οι περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι επίσης σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένες από την εισαγωγή φυσικού αερίου, ενώ επιπλέον βασίζονται σημαντικά σε έναν ενιαίο, ισχυρό προμηθευτή – τη Ρωσία. (Το 2010 το 31% των εισαγωγών φυσικού αερίου στην ΕΕ προερχόταν από την Ρωσία [33]). Οι ανησυχίες σχετικά με την αξιοπιστία του δικτύου μεταφοράς του φυσικού αερίου και την μεταβλητότητα των τιμών του κατά το παρελθόν έχουν καταστήσει την ενεργειακή ασφάλεια ύψιστη προτεραιότητα για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Έτσι, η ανάπτυξη των μη συμβατικών πηγών ενέργειας, όπως του σχιστολιθικού αερίου, θεωρείται όλο και περισσότερο μια πιθανή λύση για την ΕΕ, παρά το γεγονός ότι το σχιστολιθικό αέριο στην περιοχή είναι απίθανο να παραχθεί με τόσο χαμηλό κόστος όπως παράγεται στη Βόρεια Αμερική. Επιπλέον, παρά το γεγονός ότι η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ δεν μπορεί να φτάσει τον όγκο παραγωγής της Βόρειας Αμερικής, προβλέπεται να είναι μια πηγή ενέργειας ανταγωνιστική ως προς την τιμή, σε σύγκριση με το εισαγόμενο από την Ρωσία φυσικό αέριο.

Σε συνεργασία με εταιρίες της Βόρειας Αμερικής οι οποίες διαθέτουν την απαραίτητη τεχνολογία, την τεχνογνωσία και το κεφάλαιο, κάποιες χώρες της ΕΕ έχουν αρχίσει να αναζητούν τρόπους για να έχουν πρόσβαση στους πόρους σχιστολιθικού αερίου, ενώ παράλληλα μελετούν το κόστος της επένδυσης και το ρίσκο της εξερεύνησης.

Με ισχυρή κυβερνητική και δημόσια στήριξη για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου και με αποδεδειγμένα αποθέματα, η Πολωνία θεωρείται ότι είναι η πιο ευνοϊκή αγορά στην ΕΕ για την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου. Άλλες χώρες, όπως η Ουγγαρία, έχουν επίσης επιδείξει την υποστήριξή τους για την ανάπτυξη του μη συμβατικού αερίου, αν και το ισχύον κανονιστικό και νομικό περιβάλλον εξακολουθεί να προβληματίζει τους υποψήφιους μελλοντικούς επενδυτές.

Οι περισσότερες από τις υπόλοιπες χώρες της ΕΕ δεν έχουν ακόμη διερευνήσει για δυνητικά εξαγωγίμους πόρους, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, η περιορισμένη εγχώρια εμπειρία ως προς την παραγωγή πετρελαίου ή συμβατικού αερίου σημαίνει ότι οι χώρες αυτές μπορεί να χρειαστεί να βασιστούν σε μεγάλο βαθμό στην τεχνολογία και την τεχνογνωσία των ξένων επενδυτών. Υπάρχει επίσης ανάγκη για περαιτέρω επενδύσεις στην υπάρχουσα υποδομή μεταφοράς και διανομής φυσικού αερίου, αν και υπάρχουν μια σειρά από έργα που βρίσκονται σε εξέλιξη ή στη φάση του σχεδιασμού.

Συνεπώς, η ΕΕ παρέχει αρκετές ευκαιρίες για τους επενδυτές. Για να είναι σε θέση αυτοί να παράγουν και να πωλούν σχιστολιθικό αέριο, απαιτούνται επενδύσεις σε διάφορα τμήματα της βιομηχανίας, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών στον τομέα του φυσικού αερίου, των υπηρεσιών επεξεργασίας του νερού και των υποδομών για την κατασκευή δικτύου αγωγών, όλα προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις κάθε χώρας. Και ενώ πολλές χώρες θα ήθελαν να εξασφαλίσουν ότι οι εθνικές εταιρίες ενέργειας θα διαδραματίσουν ουσιαστικό ρόλο στην ανάπτυξη των ιδίων ενεργειακών τους πόρων, ο ιδιωτικός τομέας θα πρέπει επίσης να παίξει σημαντικό ρόλο στη χρηματοδότηση της εξερεύνησης σχιστολιθικού αερίου και της παραγωγής του σε μεγάλη κλίμακα στην ΕΕ.

Επίσης υπάρχει μια σειρά περιβαλλοντικών και συχνά κοινωνικών παραγόντων που συνδέονται με την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου που πρέπει να βρίσκονται υπό συνεχή εποπτεία, ενώ οι τοπογραφικές ιδιαιτερότητες σε Ευρωπαϊκές περιοχές θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη. Και καθώς η δημόσια αποδοχή της εξόρυξης και ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου είναι περιορισμένη (ήδη η Βουλγαρία και η Γαλλία έχουν απαγορεύσει τις εξορυκτικές διαδικασίες που χρησιμοποιούν την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης), η αντιμετώπιση τυχόν θεμάτων περιβάλλοντος και ασφάλειας θα είναι ουσιαστικής σημασίας για την ανάπτυξη του κλάδου.

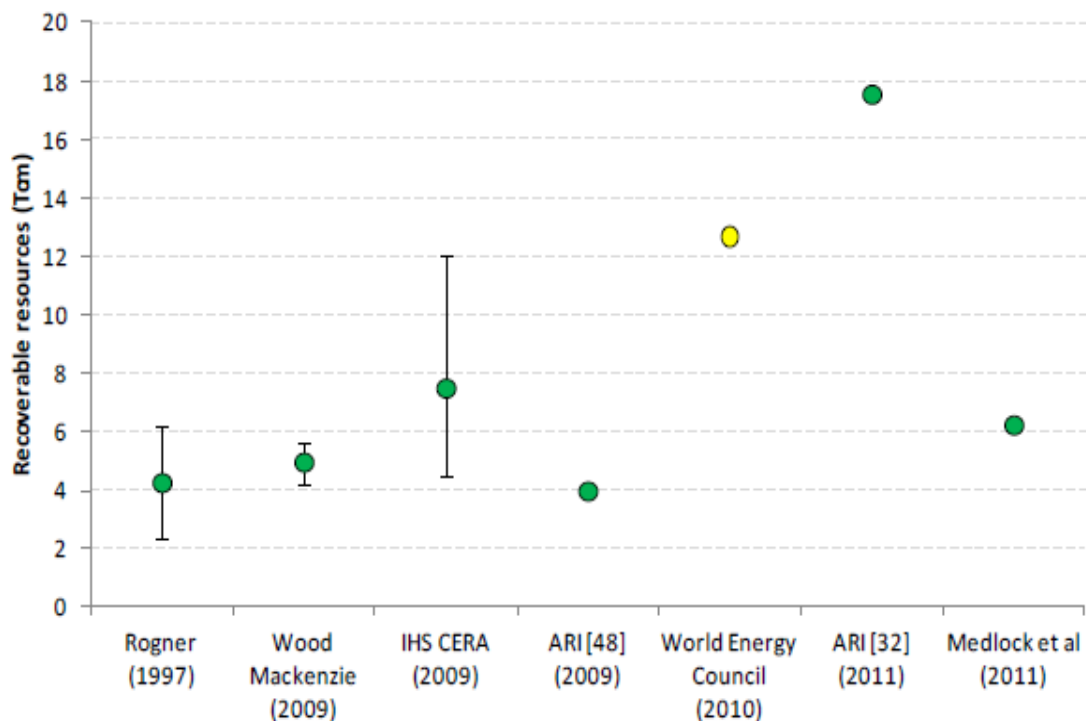
Προκειμένου να προσελκύσουν περισσότερες επενδύσεις, οι χώρες της ΕΕ είναι απαραίτητο να αναπτύξουν τα ρυθμιστικά πλαίσια όσον αφορά την εξερεύνηση και την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, όπως επίσης να καθορίσουν καλύτερα και να αποσαφηνίσουν τα φορολογικά τους καθεστώτα. Την ίδια στιγμή, οι εθνικές εταιρίες ενέργειας θα πρέπει να αναλάβουν προσεκτικά τον οικονομικό και τεχνικό σχεδιασμό, προκειμένου να διαχειριστούν τους εθνικούς τους πόρους σχιστολιθικού αερίου αποτελεσματικά.

5.2. Εκτίμηση των πόρων σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη

Η ποσότητα του σχιστολιθικού αερίου στο κοίτασμα στην Ευρώπη αξιολογήθηκε πρώτη φορά από τον Rogner το 1997 [7], ο οποίος εκτίμησε ότι υπάρχουν περίπου 16 tcm αερίου στο κοίτασμα. Στη μελέτη αυτή, χρησιμοποιήθηκε εύρος συντελεστή απόληψης 15-40% επομένως το εύρος των τεχνικά απολήξιμων πόρων σχιστολιθικού αερίου κυμαίνεται ανάμεσα στα 2,4 tcm και 6,4 tcm. Μετά την πάροδο αρκετών χρόνων από την παραπάνω μελέτη, άρχισαν να δημοσιεύονται επικαιροποιημένες μελέτες που εστίαζαν κυρίως στους τεχνικά απολήξιμους πόρους σχιστολιθικού αερίου.

Οι περισσότερες από τις νεότερες μελέτες έδειξαν μια μεγάλη αύξηση στα κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου κυρίως εξαιτίας της τεχνολογικής προόδου και των βελτιωμένων μεθόδων έρευνας για αέριο. Το 2009 η συμβουλευτική εταιρία Wood Mackenzie στη μελέτη που δημοσίευσε σχετικά με τις παγκόσμιες τάσεις μη συμβατικού αερίου [34], εκτίμησε ότι οι τεχνικά απολήξιμοι πόροι είναι 4,2 tcm ενώ η μελέτη της συμβουλευτικής εταιρίας IHS CERA σχετικά με τις δυνατότητες του σχιστολιθικού αερίου έξω από τη Βόρεια Αμερική τους εκτίμησε στα 5,7 tcm [35]. Το εύρος τους εκτιμήθηκε ανάμεσα σε 3 tcm και 12 tcm. Την ίδια χρονιά, ο Kuuskraa δημοσίευσε μια έκθεση για λογαριασμό της συμβουλευτικής εταιρίας ARI που εκτίμησε το συνολικό σχιστολιθικό αέριο στο κοίτασμα στα 30 tcm ενώ χρησιμοποιώντας συντελεστή απόληψης 13% κατέληξε σε ποσότητα 4 tcm τεχνικά απολήξιμων πόρων στην Ευρώπη [10]. Ωστόσο, η έκθεση αυτή αγνοεί σημαντική ποσότητα κοιτασμάτων στην Ευρώπη καθώς στις εκτιμήσεις της περιλαμβάνει μόνο τρία μεγάλα κοιτάσματα της Σουηδίας, της Πολωνίας και της Αυστρίας. Τον Απρίλιο του 2011, η Υπηρεσία Πληροφοριών Ενέργειας της Αμερικής (US EIA) δημοσίευσε μια μελέτη σχετικά με τους πόρους σχιστολιθικού αερίου σε 14 περιοχές εκτός των ΗΠΑ [15]. Σε αυτή εκτιμάται ότι η συνολική ποσότητα αερίου στο κοίτασμα στην Ευρώπη είναι 73 tcm. Με μέσο συντελεστή απόληψης 24% (καθώς χρησιμοποιήθηκε διαφορετικός συντελεστής απόληψης σε κάθε χώρα) οι τεχνικά απολήξιμοι πόροι εκτιμήθηκαν στα 18 tcm περίπου. Τέλος, το 2011 ο Medlock [16] εκτίμησε ότι οι τεχνικά απολήξιμοι πόροι στην Ευρώπη είναι περίπου 6 tcm διασκορπισμένοι ανάμεσα κυρίως στην Σουηδία, την Πολωνία, την Αυστρία και την Γερμανία, με το μεγαλύτερο ποσοστό (περίπου 55%) να βρίσκεται στην Πολωνία.

Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει τις εκτιμήσεις που έχουν δημοσιευθεί σε διάφορες μελέτες σχετικά με τους τεχνικά απολήψιμους πόρους σχιστολιθικού αερίου της Ευρώπης από το 1997 μέχρι το 2011. Το κίτρινο σημείο απεικονίζει τους οικονομικά απολήψιμους πόρους σχιστολιθικού αερίου.



Εικόνα 5.1: Εκτιμήσεις των τεχνικά απολήψιμων πόρων σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη [36]

5.3. Γεωγραφική κατανομή των πόρων σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη

Οι πηγές σχιστολιθικού φυσικού αερίου βρίσκονται σε τρία βασικά συνεχή κοιτάσματα στην Ευρώπη. Το πρώτο είναι ένα κοιτάσμα το οποίο εκτείνεται από την Ανατολική Δανία και τη Νότια Σουηδία στην Βόρεια και Ανατολική Πολωνία. Αυτό περιλαμβάνει τα κοιτάσματα Alum στην Σουηδία και τη Δανία και τα κοιτάσματα Silurian στην Πολωνία. Το δεύτερο εκτείνεται από την βορειοδυτική Αγγλία και φτάνει στην νοτιοδυτική Πολωνία μέσω της Ολλανδίας και της βορειοδυτικής Γερμανίας. Το τρίτο σημαντικό κοιτάσμα βρίσκεται στη νότια Αγγλία, τη Γαλλία, την Ολλανδία, την βόρεια Γερμανία και την Ελβετία. Η Πολωνία και η Γαλλία διαθέτουν τους περισσότερους πόρους σχιστολιθικού αερίου, ακολουθούμενες από τη Νορβηγία, την Ουκρανία, τη Σουηδία, τη Δανία και το Ηνωμένο Βασίλειο.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι κυριότερες λεκάνες στην Ευρώπη.

Χώρα	Λεκάνη
Σουηδία	Fennoscandian Border Zone
Ελβετία, Αυστρία	Molasse Basin
Ισπανία	Campo de Gibraltar Zone
Ισπανία	Pyrenean Foothills
Γαλλία	Paris Basin
Γαλλία	Bresse-Valence Basin
Γαλλία	Western Alps Foothills
Γαλλία	Aquitaine Basin
Γαλλία	Languedoc-Provence Basin
Ηνωμένο Βασίλειο	Bowland Basin
Πολωνία	Baltic Depression
Πολωνία	Ketzyn Terrace
Πολωνία	Danish-Polish Marginal Trough
Πολωνία	European Platform Margin
Πολωνία	Podlasie Basin
Πολωνία	Lublin Trough
Γερμανία, Ολλανδία	Northwest German Basin
Γερμανία, Πολωνία	Northeast German-Polish Basin
Ολλανδία, Ηνωμένο Βασίλειο	Anglo-Dutch Basin

Πίνακας 5.1: Οι κυριότερες λεκάνες σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη [25]

Στον παρακάτω χάρτη φαίνεται η γεωγραφική κατανομή των λεκάνων στην Ευρώπη που διαθέτουν κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου.



Εικόνα 5.2: Χάρτης λεκάνων σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη [21]

Τρεις βασικές παρατηρήσεις προκύπτουν από την γεωγραφική ανάλυση των κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου στην Ευρώπη. Η πρώτη είναι ότι η γεωγραφική κατανομή των πόρων μη συμβατικού αερίου είναι άνιση, κάτι που σημαίνει ότι δεν έχουν όλες οι χώρες της Ευρώπης κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου, και μεταξύ των χωρών που έχουν, συγκεκριμένες περιοχές τους θα μπορούσαν να επηρεαστούν από την ανάπτυξη των πόρων. Δεύτερον, οι περισσότεροι σχιστόλιθοι εκτείνονται κυρίως σε βιομηχανικές και σχετικά αστικοποιημένες περιοχές της Ευρώπης, ιδίως στην βόρεια ηπειρωτική Ευρώπη, γεγονός που περιορίζει μια μεγάλης κλίμακας εκμετάλλευση των πόρων. Η υψηλή πυκνότητα πληθυσμού σημαίνει ότι υπάρχουν πολλά κτίρια και υποδομές διάσπαρτες σε όλες τις περιοχές ενώ οι ζώνες ασφαλείας γύρω από αυτές καταλαμβάνουν επίσης χώρο. Έτσι, οι περιοχές αυτές δεν ευνοούν την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου ενώ οι μόνες μη αμφιλεγόμενες περιοχές που επιτρέπουν τις γεωτρήσεις είναι οι γεωργικές εκτάσεις. Τέλος, η επικάλυψη μεταξύ μη συμβατικών κοιτασμάτων με φρέατα συμβατικού φυσικού αερίου που έχουν αναπτυχθεί και βρίσκονται στο στάδιο της παραγωγής είναι σημαντική, κυρίως στην Ολλανδία, τη Βορειοδυτική Γερμανία και τη Νότια Ουγγαρία. Πρόκειται για περιοχές με ιστορικό παραγωγής φυσικού αερίου που θα μπορούσαν ως εκ τούτου να υποστηρίξουν πιο εύκολα την εκμετάλλευση των μη συμβατικών πηγών σε σύγκριση με άλλες περιοχές που δεν διαθέτουν την σχετική εμπειρία και τεχνογνωσία. Το ίδιο ισχύει και για τις περιοχές με ιστορικό εξόρυξης άνθρακα όπως η Βόρεια Γαλλία, το Βέλγιο και η Πολωνία. Στις χώρες αυτές, η πρόσβαση σε εκτάσεις γης και η εξασφάλιση της υποστήριξης των τοπικών φορέων για την ανάπτυξη των νέων αυτών πηγών σε μεγάλη κλίμακα ίσως αποδειχθεί λιγότερο δύσκολη απ'ότι αλλού, αλλά είναι δύσκολη η γενίκευση λόγω των ιδιαιτεροτήτων των τοποθεσιών.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα παρατήρηση από την κατανομή των πόρων του σχιστολιθικού αερίου είναι ότι μερικές μόνο χώρες θα μπορούσαν να αναπτύξουν την παραγωγή φυσικού αερίου σε μια κλίμακα που θα άλλαζε τις πολιτικές σχέσεις με τις γείτονες χώρες και τους υπάρχοντες προμηθευτές τους σε φυσικό αέριο. Αυτές οι χώρες είναι η Γερμανία, η Πολωνία, η Γαλλία, η Ουγγαρία και η Ρουμανία.

5.4. Παράγοντες ώθησης της ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ

Το πλαίσιο που περιβάλλει τις ευρωπαϊκές αγορές φυσικού αερίου φαίνεται να ευνοεί την ανάπτυξη των κοιτασμάτων σχιστολιθικού αερίου για πολλούς λόγους. Πρώτον, η ΕΕ παραμένει η δεύτερη μεγαλύτερη περιφερειακή αγορά φυσικού αερίου με τη ζήτηση να φτάνει τα 547 bcm το 2012, ενώ η εγχώρια προσφορά φυσικού αερίου χαρακτηρίζεται από μειούμενα αποθέματα και παραγωγή σε όλες τις χώρες παραγωγής του αερίου [21]. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η πτώση είναι παρόμοια με αυτή που αντιμετώπισαν οι ΗΠΑ στα μέσα του 2000. Δεύτερον, η ζήτηση φυσικού

αερίου προβλέπεται να συνεχίσει να αυξάνεται, αν και ο συνολικός ρυθμός προβλεπεται να είναι πιο αργός σε σχέση με άλλες περιοχές, με διαφορές ανάμεσα στα κράτη μέλη, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση της εξάρτησης της ΕΕ από τις εισαγωγές [21]. Στην πραγματικότητα η ΕΕ προβλέπεται να γνωρίσει μια πολύ μεγάλη αύξηση των εισαγωγών φυσικού αερίου [21]. Έτσι, υπό το πρίσμα της ανησυχίας σχετικά με την ασφάλεια της προμήθειας φυσικού αερίου που επικρατεί σε ορισμένες χώρες και των στόχων της ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, η ανάπτυξη νέων εγχώριων πηγών φυσικού αερίου συνιστά μια ελκυστική πρόταση. Επιπλέον, οι ευρωπαϊκές αγορές φυσικού αερίου είναι ελκυστικές λόγω της ύπαρξης εγκαταστημένου δικτύου αγωγών και υποδομών μεταφοράς, διανομής και επεξεργασίας του αερίου. Τέλος, οι υψηλές τιμές φυσικού αερίου που επικρατούν στην ΕΕ σε σχέση με τις ΗΠΑ ευνοούν την εκμετάλλευση νέων πηγών αερίου.

5.4.1. Ενεργειακή ασφάλεια

Η μελλοντική προμήθεια φυσικού αερίου στην ΕΕ από το διηπειρωτικό δίκτυο αγωγών και τις εισαγωγές υγροποιημένου αερίου (LNG) παραμένει ευάλωτη σε διακυμάνσεις των τιμών όταν η ζήτηση δεν είναι σε ισορροπία με την προσφορά είτε λόγω γεωπολιτικών εντάσεων είτε λόγω της αυξανόμενης ζήτησης από τις αναδυόμενες οικονομίες κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η ανάπτυξη των μέχρι σήμερα αναξιοποίητων πηγών μη συμβατικού αερίου στην ΕΕ θα μπορούσε να μειώσει την εξάρτηση της από τις εισαγωγές αερίου. Ωστόσο, αν το μη συμβατικό αέριο δεν μπορεί να παραχθεί οικονομικά και με περιβαλλοντικά αποδεκτό τρόπο, τότε η ΕΕ θα παραμείνει ευάλωτη στις αυξομειώσεις των τιμών και τις διαταραχές του εφοδιασμού. Οι χώρες της ΕΕ εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις εισαγωγές φυσικού αερίου. Τα περισσότερα μέλη της ΕΕ είναι 100% εξαρτημένα από τις εισαγωγές φυσικού αερίου. Μόνο δύο κράτη-μέλη είναι 100% αυτόνομα (Ολλανδία και Δανία) ενώ κάποια κράτη έχουν εγχώρια παραγωγή που συμπληρώνεται από εισαγωγές αερίου (π.χ. Ηνωμένο Βασίλειο, Γερμανία, Πολωνία, Αυστρία και Ουγγαρία). Η Ρωσία είναι ο μεγαλύτερος προμηθευτής φυσικού αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης καθώς καλύπτει περίπου το 30% των εισαγωγών της.

Η εξάρτηση της ΕΕ σε εισαγωγές φυσικού αερίου φαίνεται στον παρακάτω πίνακα που παρουσιάζει την κατανάλωση, την παραγωγή και τις εισαγωγές φυσικού αερίου στα 27 κράτη μέλη της ΕΕ το 2011.

Δεδομένα για το Φυσικό Αέριο στην ΕΕ-27 το 2011 (σε bcf)

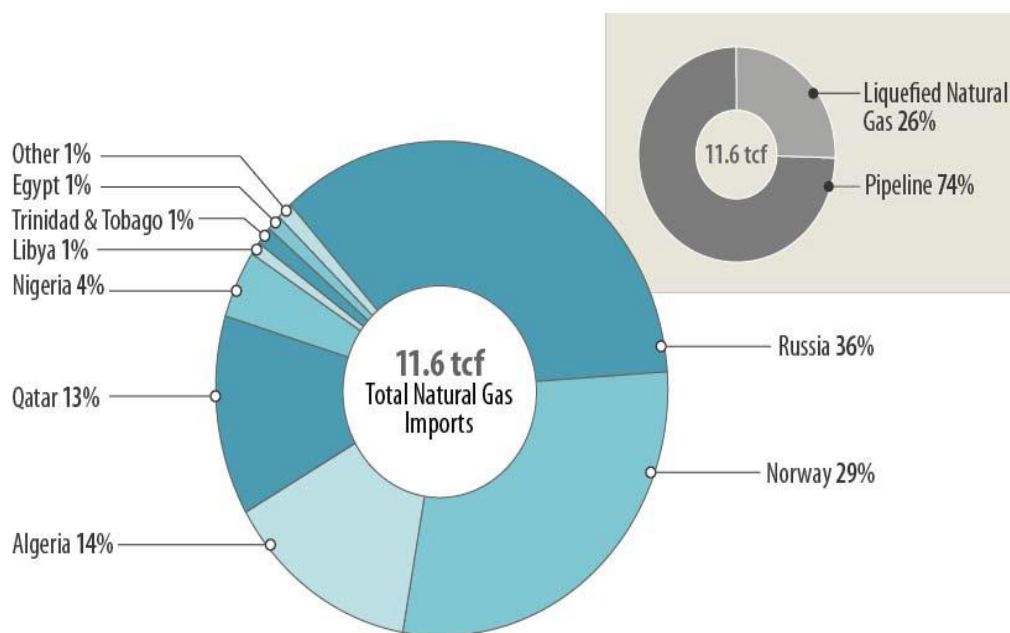
	Κατανάλωση φυσικού αερίου	Παραγωγή φυσικού αερίου	Εισαγωγές φυσικού αερίου
Αυστρία	335	58	339
Βέλγιο	569	0	802
Βουλγαρία	102	0	101
Κύπρος	0	0	0
Τσεχία	297	7	424
Δανία	148	251	0
Εσθονία	13	0	13
Φινλανδία	127	0	134
Γαλλία	1423	26	1141
Γερμανία	2560	353	2966
Ελλάδα	159	0	117
Ουγγαρία	360	88	237
Ιρλανδία	166	11	191
Ιταλία	2518	271	2147
Λετονία	23	0	23
Λιθουανία	120	0	120
Λουξεμβούργο	48	0	48
Μάλτα	0	0	0
Ολλανδία	1345	2267	480
Πολωνία	544	152	381
Πορτογαλία	180	0	180
Ρουμανία	487	388	99
Σλοβακία	219	4	187
Σλοβενία	31	0	31
Ισπανία	1134	4	1296
Σουηδία	46	0	46
Ηνωμένο Βασίλειο	2832	1596	1886
Συνολικά	15786	5476	13389

Πίνακας 5.2: Κατανάλωση, παραγωγή και εισαγωγές φυσικού αερίου στην ΕΕ-27 το 2011 [37]

Επομένως, οι περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα μπορούσαν να ωφεληθούν άμεσα από την εκμετάλλευση των μη συμβατικών πηγών αερίου. Ακόμη όμως και η Δανία και οι Κάτω Χώρες, στις οποίες σημειώνεται πτώση της παραγωγής, θα μπορούσαν να επωφεληθούν από την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου προκειμένου να αντισταθμίσουν την μείωση της παραγωγής.

Κατά μέσο όρο, το 41% της ζήτησης φυσικού αερίου στην Ευρώπη (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία) καλύφθηκε από εισαγωγές το 2010, εκ των οποίων το μεγαλύτερο τμήμα προερχόταν από την Ρωσία. Επιπλέον, το μεγαλύτερο μέρος των προμηθειών φυσικού αερίου έχει συναφθεί βάσει μακροπρόθεσμων ενεργειακών συμφωνιών. Από την κρίση φυσικού αερίου μεταξύ της Ρωσίας και της Ουκρανίας το 2006 και το 2009, και την διακοπή παροχής αερίου στην Λευκορωσία το 2010, οι περισσότερες χώρες της ΕΕ αναζητούν τρόπους να μειώσουν την εξάρτησή τους από τις εισαγωγές αερίου. Επίσης τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης ακολουθούν μια ενεργειακή πολιτική στην οποία ένας από τους βασικούς στόχους είναι η ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας.

Η παρακάτω εικόνα δείχνει τις εισαγωγές φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2011 καθώς και το ποσοστό των εισαγωγών που καλύπτεται από ορισμένες χώρες.



Εικόνα 5.3: Εισαγωγές φυσικού αερίου στην ΕΕ και ο βαθμός εξάρτησή της από συγκεκριμένες χώρες [37].

5.4.2. Μείωση των αποθεμάτων συμβατικού φυσικού αερίου

Σύμφωνα με στοιχεία της Διεθνούς Επιτροπής Ενέργειας, από τα 27 κράτη μέλη της ΕΕ, μόνο η η Δανία και η Ολλανδία εξακολουθούν να έχουν αρκετά αποθέματα συμβατικού φυσικού αερίου για την κάλυψη της εγχώριας ζήτησης. Ωστόσο, και σε αυτές τις χώρες τα αποδεδειγμένα αποθέματα συμβατικού αερίου σημειώνουν σημαντική πτώση τα τελευταία χρόνια από το 2000. Στην Ουγγαρία, τα αποθέματα συμβατικού αερίου εκτιμάται ότι θα εξαντληθούν μέσα στο 2013 ενώ στην Πολωνία μέχρι το 2037.

Γενικότερα, τα αποθέματα συμβατικού αερίου της ΕΕ σημειώνουν πτώση με ετήσιο ρυθμό της τάξης του 4% από το 2000 μέχρι το 2011. Κατά την διάρκεια αυτών των χρόνων, τα αποθέματα μειώθηκαν από 7.880 bcm σε 4.911 bcm. Συγκριτικά όμως με τα αποθέματα στην ΕΕ, τα αποθέματα συμβατικού αερίου της Ρωσίας, του μεγαλύτερου προμηθευτή αερίου της ΕΕ, εκτιμάται ότι φτάνουν για ακόμη 75 χρόνια.

5.4.3. Αύξηση των εισαγωγών φυσικού αερίου

Η παραγωγή φυσικού αερίου στην ΕΕ πέρασε ήδη την παραγωγή αιχμής το 1996, με παραγωγή 235 bcm ετησίως. Το 2009, η παραγωγή είχε ήδη μειωθεί κατά 27% σε 171 bcm ετησίως. Παράλληλα, η κατανάλωση αυξήθηκε από 409 bcm το 1996 σε 460 bcm το 2009, δηλαδή αύξηση 12%. Επομένως, το μερίδιο της εγχώριας παραγωγής μειώθηκε από 57% σε 37%. Συμπεριλαμβανομένης της Νορβηγίας, η παραγωγή αιχμής καταγράφηκε το 2004 με 306 bcm ετησίως και μειώθηκε σε 275 bcm ετησίως το 2009 (-11%). Οι εισαγωγές από χώρες εκτός της ΕΕ και της Νορβηγίας αυξήθηκαν από 37% το 2004 σε 40% το 2009 [11]. Στην έκθεση World Energy Outlook του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας το 2011 [24] προβλέπεται περαιτέρω μείωση της παραγωγής σε επίπεδα κάτω των 90 bcm ετησίως μέχρι το 2035 ή, συμπεριλαμβανομένης της Νορβηγίας, σε 127 bcm ετησίως. Η ζήτηση φυσικού αερίου προβλέπεται ότι θα αυξάνεται κατά 0,7% ετησίως για να φτάσει τα 667 bcm ετησίως το 2035 [21]. Αναπόφευκτα, η διαφορά μεταξύ ζήτησης και μειούμενης εγχώριας προσφοράς αυξάνεται, γεγονός που υποχρεώνει την ΕΕ να αυξήσει τις εισαγωγές σε περισσότερα από 400 bcm ετησίως το 2035, πράγμα που αυξάνει το ποσοστό των εισαγωγών σε 60% της συνολικής ζήτησης αερίου.

5.4.4. Αυξανόμενες τιμές φυσικού αερίου

Στις περισσότερες χώρες της ΕΕ η αγορά φυσικού αερίου εξαρτάται από την εισαγωγή ρωσικού φυσικού αερίου, η οποία βασίζεται σε μακροπρόθεσμες συμβάσεις συνδεδεμένες με την διεθνή τιμή του πετρελαίου. Παράλληλα με την τιμή του πετρελαίου κατά την διάρκεια των τελευταίων 10 χρόνων, οι τιμές του εισαγόμενου φυσικού αερίου από την Ρωσία σημείωσαν σημαντικές διακυμάνσεις, αυξανόμενες από τα \$110/toe τον Ιανουάριο του 2000, σε \$577/toe τον Οκτώβριο του 2008 και πέφτοντας στα \$222/toe τον Αύγουστο του 2009. Από τον Αύγουστο του 2009, οι τιμές του εισαγόμενου ρωσικού φυσικού αερίου έχουν αρχίσει να αυξάνονται ξανά, με μέσο όρο 2,3% κάθε μήνα. Ενώ οι συμβάσεις με ρήτρα “take or pay” μεταξύ της Ρωσίας και των ευρωπαϊκών χωρών αναμένεται να παραμείνουν, η τιμή του φυσικού αερίου αναμένεται να αποσυνδεθεί από την τιμή του πετρελαίου μακροπρόθεσμα (σε κάποιο βαθμό).

Με την επέκταση του ρόλου της απελευθέρωσης των συναλλαγών φυσικού αερίου στην ΕΕ, τις αυξανόμενες συναλλαγές αερίου μέσω spot markets, την ανάπτυξη των διασυνοριακών διασυνδέσεων και των μεταφορικών δυνατοτήτων, καθώς και της ενδεχόμενης αύξησης της προσφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου και μη συμβατικού αερίου, η προβλεπόμενη τιμή του φυσικού αερίου δεν προβλέπεται να ακολουθεί την αύξηση της τιμής του πετρελαίου.

5.5. Προκλήσεις της ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ

5.5.1. Περιβαλλοντικές ανησυχίες

Η εξόρυξη του σχιστολιθικού αερίου απαιτεί τη χρήση της τεχνικής της υδραυλικής ρωγμάτωσης, στην οποία καταναλώνονται εκατομμύρια γαλόνια νερού. Ενδεικτικά σύμφωνα με έκθεση της συμβουλευτικής εταιρίας Accenture [20]) για την γεώτρηση ενός φρεάτος απαιτούνται κατά μέσο όρο 5 εκατομμύρια γαλόνια νερού. Επομένως παρουσιάζεται μια δυσκολία ιδιαίτερα σε περιοχές με ανεπάρκεια νερού ή σε περιοχές όπου η τιμή του είναι σχετικά υψηλή. Επιπλέον η μόλυνση του νερού που προκύπτει από την ακατάλληλη διάθεση των υγρών ρωγμάτωσης συνιστά έναν προβληματισμό, ιδίως σε συνδυασμό με το φόβο ότι οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ρωγμάτωση μπορεί να μολύνουν πηγές πόσιμου νερού, θέτοντας σε κίνδυνο τη δημόσια υγεία.

Οι χώρες της ΕΕ έχουν μια αυστηρή προσέγγιση σε αυτές τις περιβαλλοντικές ανησυχίες απαιτώντας από τις εξορυκτικές εταιρίες να εξετάζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενδελεχώς, προτού προχωρήσουν στην εκμετάλλευση των σχιστολιθικών σχηματισμών.

5.5.2. Πρόσβαση στην αγορά

Ακολουθώντας το δεύτερο και το τρίτο ενεργειακό Πακέτο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι χώρες της, καθώς και τα μέλη της Ενεργειακής Κοινότητας¹, έχουν δεσμευτεί για την απελευθέρωση των αγορών φυσικού αερίου. Ενώ οι περισσότερες χώρες στην περιοχή της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης, προχωρούν σημαντικά προς την απελευθέρωση των αγορών τους, η πρόοδος κάθε χώρας παρουσιάζει σημαντικές διαφορές: σε ορισμένες χώρες, η πρόοδος αυτή είναι ανύπαρκτη (Μαυροβούνιο, Κοσσυφοπέδιο), άλλες βρίσκονται απλά στο ξεκίνημα (Αλβανία, ΠΓΔΜ, Βοσνία – Ερζεγοβίνη), ενώ άλλες έχουν ακολουθήσει μια μέση εξέλιξη (Κροατία, Σερβία). Η πρόοδος κάθε χώρας της Ευρώπης στην απελευθέρωση της εγχώριας αγοράς φυσικού αερίου επηρεάζει την ικανότητα των προμηθευτών για την πώληση φυσικού αερίου από εναλλακτικές πηγές σε άλλους συμμετέχοντες στην αγορά.

Ένα άλλο ζήτημα σχετικά με την πρόσβαση στην αγορά είναι οι ρήτρες “take or pay” σε συμβάσεις μακράς διάρκειας μεταξύ της Gazprom και των χονδρέμπορων του ρωσικού φυσικού αερίου. Σύμφωνα με την ρήτρα “take or pay” ο παραγωγός εγγυάται να παρέχει μια καθορισμένη ποσότητα φυσικού αερίου στον αγοραστή με αντάλλαγμα τις εγγυήσεις πληρωμής, ανεξάρτητα αν ο αγοραστής παραλαμβάνει τελικά την ποσότητα. Αφού όμως οι χονδρέμποροι του ρωσικού φυσικού αερίου είναι υποχρεωμένοι να πληρώνουν για τις συναφθείσες με αυτήν την σύμβαση ποσότητες, η υποκατάσταση του ρωσικού φυσικού αερίου με δυνητικά φθηνότερο σχιστολιθικό αέριο θα είναι αντιοικονομική. Επιπλέον, η λήξη των συμβάσεων μακράς διάρκειας στην περιοχή της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης μπορεί να επεκταθεί μέχρι και 25 έτη, κλειδώνοντας ουσιαστικά τις χώρες σε μια παρατεταμένη περίοδο δέσμευσης, χωρίς να αφήνει περιθώρια για εκ νέου αξιολόγηση των επιλογών προμηθευτών κατά τη διάρκεια όλης αυτής της περιόδου.

Τέλος, η λήξη των συμβάσεων μεταξύ των χονδρέμπορων, των εταιριών κοινής ωφέλειας και των παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρει ανάλογα τη χώρα, και σε ορισμένες αγορές θα μπορούσε να περιορίσει την διανομή του σχιστολιθικού αερίου. Αν και αυτές οι συμβάσεις είναι παρόμοιες με τους όρους των μακροπρόθεσμων συμβολαίων “take or pay” που χρησιμοποιούνται από τους χονδρέμπορους για την αγορά φυσικού αερίου από την Ρωσία, οι εταιρίες κοινής ωφέλειας και οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί επίσης να περιορίζονται όσον αφορά την αγορά φυσικού αερίου από εναλλακτικές πηγές. Από την άλλη

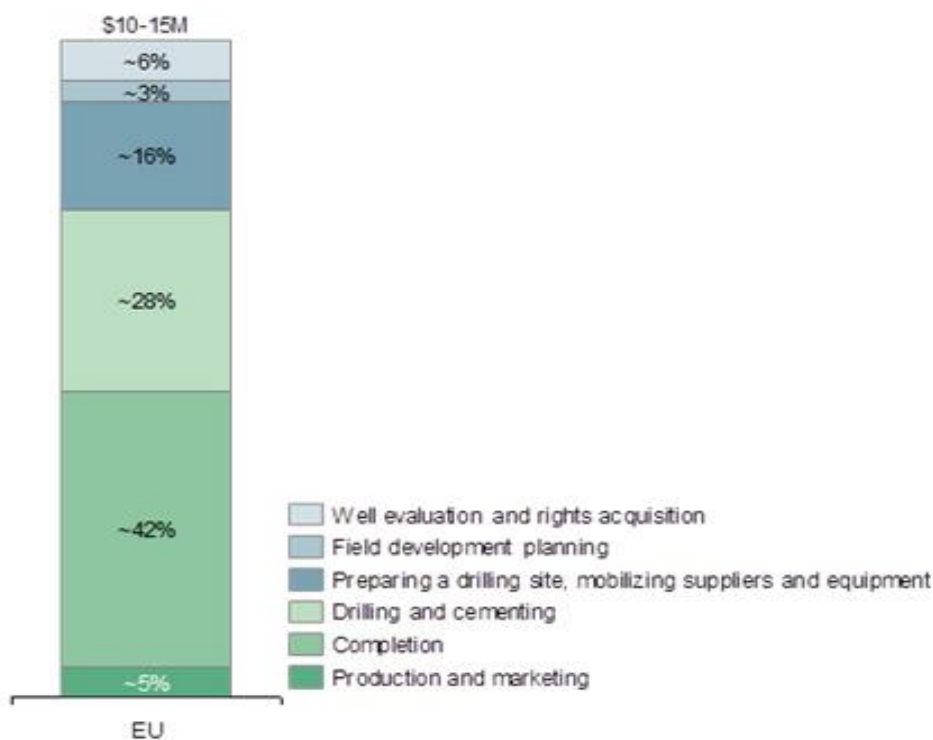
¹ Σημείωση: Τα μέλη της Ενεργειακής Κοινότητας είναι η Ευρωπαϊκή Κοινότητα, η Αλβανία, η Βοσνία-Ερζεγοβίνη, η Κροατία, η Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας, η Δημοκρατία του Μαυροβουνίου, η Σερβία

πλευρά όμως, σε πιο ώριμες και απελευθερωμένες αγορές, η μέση διάρκεια των συμβάσεων μεταξύ των μεγάλων τελικών καταναλωτών και των χονδρέμπορων κυμαίνεται συνήθως στα 1-3 χρόνια, καθιστώντας έτσι δυνατή την αγορά αερίου από εναλλακτικές πηγές μεσοπρόθεσμα.

5.5.3. Υψηλό κόστος παραγωγής

Τα κόστη γεώτρησης εξαρτώνται κυρίως από φυσικούς παράγοντες, όπως το κατακόρυφο βάθος, το πλευρικό μήκος, την πίεση της δεξαμενής, όπως επίσης από εμπορικούς παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα των υπηρεσιών και των πρώτων υλών. Μερικές εκτιμήσεις κοστολογούν την ανάπτυξη ενός φρέατος στις ΗΠΑ ανάμεσα στα \$3 και \$9 εκατομμύρια [25]. Σύμφωνα με την εταιρία Schlumberger, τον μεγαλύτερο πάροχο υπηρεσιών στον τομέα του πετρελαίου, η ανάπτυξη ενός φρέατος σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία μπορεί να κοστίσει κατά μέσο όρο 3 φορές παραπάνω από τις ΗΠΑ. Το κόστος γεώτρησης ενός οριζόντιου φρέατος 2.000 μέτρων στις ΗΠΑ κοστίζει κατά μέσο όρο \$3,9 εκατομμύρια, ενώ στην Πολωνία \$11 εκατομμύρια.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η εκτίμηση του συνολικού κόστους φρέατος σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη.



Εικόνα 5.4: Εκτίμηση συνολικού κόστους ανάπτυξης φρέατος σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη [38]

5.5.4. Πρόσβαση σε γη

Σε αντίθεση με τις ΗΠΑ, όπου οι ιδιοκτήτες μιας χερσαίας έκτασης έχουν στην ιδιοκτησία τους τα δικαιώματα των ορυκτών και λαμβάνουν τέλη για την παραγωγή αερίου (εώς 25%) [38], τα υπόγεια αποθέματα στις χώρες της ΕΕ θεωρούνται αποκλειστική ιδιοκτησία του κράτους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι ιδιοκτήτες της έκτασης να μην έχουν κίνητρο να συνεργάζονται με τις εταιρίες που θέλουν να εξερευνήσουν το υπέδαφος και οι τοπικές κοινωνίες να μην ενθαρρύνουν δοκιμαστικές γεωτρήσεις στις περιοχές τους. Έτσι, η πρόσβαση σε εκτάσεις γης στην ΕΕ είναι διαφορετική. Οι εταιρίες λοιπόν έχουν την επιλογή είτε να διαπραγματευτούν ένα ενοίκιο για τη χρήση γης είτε να αποκτήσουν υποχρεωτικά την έκταση από το κράτος, κάτι όμως που αυξάνει το κόστος και μπορεί να καθυστερήσει την πρόοδο στις εξορυκτικές και παραγωγικές δραστηριότητες.

Πέρα από τις διαφορές στα ιδιοκτησιακά δικαιώματα, η πληθυσμιακή πυκνότητα στις χώρες της ΕΕ είναι γενικά μεγαλύτερη από εκείνη των περιοχών των ΗΠΑ που διαθέτουν σχιστολιθικούς σχηματισμούς και αυτό καθιστά δυσκολότερη την εμπορική εκμετάλλευση κοιτασμάτων σχιστολιθικού αερίου. Ωστόσο, σε ανοικτές γεωργικές εκτάσεις, όπου αυτές υπάρχουν στις ζώνες της ΕΕ που διαθέτουν κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου, οι γεωτρήσεις γύρω από τα κτίρια, οι δρόμοι και οι προστατευμένες εκτάσεις είναι περιορισμένες και επομένως είναι πιο εύκολη η εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου.

5.5.5. Γεωλογική αβεβαιότητα

Επειδή οι εξερευνητικές δραστηριότητες στην ΕΕ βρίσκονται ακόμα σε εξέλιξη, ακριβείς πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα των πόρων και των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου είναι περιορισμένες, ενώ επίσης υπάρχει ο κίνδυνος οι αρχικές εκτιμήσεις για το μεγεθός τους να διαφέρουν σημαντικά από τα πραγματικά κοιτάσματα. Για παράδειγμα, το Πολωνικό Γεωλογικό Ινστιτούτο μείωσε τις εκτιμήσεις για την ποσότητα σχιστολιθικού αερίου που υπάρχει στην χώρα κατά 93% σε σχέση με εκείνες της Υπηρεσίας Πληροφοριών Ενέργειας των ΗΠΑ [21].

Ένας άλλος κίνδυνος σχετίζεται με τις γεωλογικά χαρακτηριστικά των διαφορετικών σχιστολιθικών σχηματισμών. Καθώς τα γεωλογικά χαρακτηριστικά διαφέρουν σημαντικά ανάλογα τον σχιστολιθικό σχηματισμό, η τεχνολογία που μπορεί να είναι αποτελεσματική στον έναν να καταστεί αναποτελεσματική στον άλλον. Με βάση τα δεδομένα από την έκθεση της συμβουλευτικής εταιρίας ARI [15], το βάθος στο οποίο βρίσκεται το σχιστολιθικό αέριο στην Ευρώπη είναι κατά μέσο όρο 1,5 φορές μεγαλύτερο σε σχέση με το αντίστοιχο των ΗΠΑ, οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο βάθος εκείνο είναι διαφορετικές (καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται ταχύτερα με το βάθος) όπως επίσης είναι διαφορετικές και οι ιδιότητες του πορώδους.

5.6.Επιπτώσεις της ανάπτυξης σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ

5.6.1. Γεωλογικοί κίνδυνοι

Ένα από τα πιο σημαντικά κίνητρα πίσω από την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ είναι η δυνατότητα μείωσης της εξάρτησης κάθε χώρας από το εισαγόμενο φυσικό αέριο, αυξάνοντας με αυτό το τρόπο την ενεργειακή ασφάλεια. Ως παράδειγμα για την ανάπτυξη σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ μπορεί να εκληφθούν οι ΗΠΑ που ήταν εισαγωγείς φυσικού αερίου από τον Καναδά μέσω δικτύου αγωγών και από την Βόρεια Αφρική μέσω υδροποιημένου φυσικού αερίου. Οι εισαγωγές αυτές κάλυπταν το 16% της εγχώριας κατανάλωσης το 2001. Ωστόσο, μετά την αύξηση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Αμερική τα τελευταία χρόνια, αυτό αντιπροσώπευε το 2011 το 34% της εγχώριας παραγωγής, μειώνοντας επομένως σημαντικά την ποσότητα του εισαγόμενου φυσικού αερίου.

5.6.2. Τιμές φυσικού αερίου

Σε περίπτωση που η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου καλύψει ένα σημαντικό ποσοστό της εγχώριας ζήτησης φυσικού αερίου, τότε οι εγχώριες τιμές και οι τιμές εισαγωγών αναμένεται να μειωθούν λόγω του αυξημένου ανταγωνισμού από τις νέες πηγές και της μειωμένης εξάρτησης. Η μελλοντική εξέλιξη των τιμών θα εξαρτηθεί επίσης από την απελευθέρωση των εθνικών αγορών και την δυνατότητα εξαγωγών.

Ενώ η έκρηξη του σχιστολιθικού αερίου βρίσκεται σε εξέλιξη αρκετά χρόνια, οι τιμές του φυσικού αερίου έχουν μειωθεί από το 2009, και από τότε έχουν αποσυνδεθεί από τις τιμές του αργού πετρελαίου στις ΗΠΑ. Οι προμηθευτές του φυσικού αερίου μέσω αγωγών και υδροποιημένου αερίου προσαρμόστηκαν σε αυτή την υπερπροσφορά με την μείωση των τιμών για τις εισαγωγές. Οι τιμές του φυσικού αερίου στις ΗΠΑ προβλέπεται να είναι μειωμένες πάνω από 50% σε σχέση με τα επίπεδα που θα βρίσκονταν χωρίς την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου [21].

5.6.3. Εκπομπές CO₂

Η πιθανή αντικατάσταση των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα με μονάδες που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο θα οδηγούσε σε αύξηση της απόδοσης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μείωση των εκπομπών CO₂.

Ο άνθρακας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σε πολλές χώρες της Ευρώπης, αντιπροσωπεύοντας το 36% του συνολικού μείγματος παραγωγής το 2009. Ακολουθούν το αέριο και το πετρέλαιο, με 24% και 22% αντίστοιχα. Περίπου το 81% του άνθρακα χρησιμοποιείται στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με το υπόλοιπο 11% να χρησιμοποιείται στον βιομηχανικό. Ωστόσο, ενώ οι εκπομπές CO₂ από τις μονάδες που χρησιμοποιούν άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνονται ανάμεσα στους 0,142 και 0,777 τόνους ανά MWh (η ακριβής τιμή εξαρτάται από την τεχνολογία), οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από φυσικό αέριο με τεχνολογία συνδυασμένου κύκλου εκπέμπουν κατά μέσο όρο 0,403 τόνους ανά MWh.

5.6.4. Οικονομικές επιπτώσεις

Η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου στην περιοχή της ΕΕ θα οδηγήσει σε νέες ροές επενδύσεων, καθώς και την δημιουργία θέσεων εργασίας και υψηλότερα φορολογικά έσοδα στην Ευρώπη [39].

5.7. Σύγκριση του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ

5.7.1. Γεωλογία

Αρχικές μελέτες δείχνουν ότι υπάρχουν περισσότεροι από 650 σχιστολιθικοί σχηματισμοί σε ολόκληρο τον κόσμο, σε 142 λεκάνες. Αυτό ισοδυναμεί με ποσότητα 456 tcm σχιστολιθικού αερίου στο κοίτασμα, εκ της οποίας το 40% προβλέπεται να είναι οικονομικά απολήψιμο [15]. Γεωγραφικά, οι ΗΠΑ και οι χώρες της Κοινοπολιτείας Ανεξάρτητων Κρατών (CIS) εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύουν περίπου το 60% των παγκόσμιων διαθέσιμων πόρων σχιστολιθικού αερίου. Η Ευρώπη, ωστόσο αντιπροσωπεύει ένα πολύ χαμηλότερο ποσοστό της τάξης του 7% των παγκόσμιων αποθεμάτων, αν και αυτές οι εκτιμήσεις υπόκεινται σε μεγάλη αβεβαιότητα και ενδέχεται να αναθεωρηθούν, καθώς οι δραστηριότητες αξιολόγησης και εξερεύνησης προχωρούν.

Σε γενικές γραμμές, οι ιδιότητες και οι ορισμοί των σχιστολιθικών σχηματισμών είναι παρόμοιες τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ευρώπη, αν και χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων όπως το βάθος, η υπόγεια θερμοκρασία, το πορώδες και το περιεχόμενο σε άργιλο διαφέρει ανάλογα την λεκάνη και τον σχηματισμό. Το σχιστολιθικό αέριο

βρίσκεται συνήθως κοντά σε σχηματισμούς συμβατικού αερίου, σε παλιά ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν κυρίως άργιλο και χαλαζία.

Οι περισσότεροι σχιστολιθικοί σχηματισμοί στις ΗΠΑ εξαπλώνονται σε μεγάλης έκτασης λεκάνες, εντός των οποίων οι δραστηριότητες εξόρυξης εντοπίζουν τα κατάλληλα σημεία “sweet spots” τα οποία παράγουν τουλάχιστον 4 Mcf/μέρα. Αυτό όμως δεν συμβαίνει στην Ευρώπη, καθώς είναι πιο πυκνοκατοικημένη και μια τέτοια δραστηριότητα θα έφερνε τις γεωτρήσεις πιο κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Η έλλειψη ελεύθερης γης για σταθμούς γεώτρησης είναι ένα ακόμα εμπόδιο στην ευρωπαϊκή ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου. Τα γνωστά αποθέματα σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη, βρίσκονται σε βάθος 1,5 φορές μεγαλύτερο κατα μέσο όρο από το αντίστοιχο των ΗΠΑ, γεγονός που σημαίνει ότι οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο υπέδαφος διαφέρουν σημαντικά. Σε ορισμένες περιοχές της Ευρώπης, η γεωθερμική βαθμίδα είναι πολύ υψηλή: για κάθε 15-20 μέτρα διάτρησης, η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1 βαθμό Κελσίου (ο παγκόσμιος μέσος όρος είναι περίπου 33 μέτρα).

Παρ’όλα αυτά, υπάρχουν κάποιες ευκαιρίες στην ΕΕ, όπου έχουν διεξαχθεί μόνο κάποιες αξιόπιστες αξιολογήσεις των πόρων. Μερικές από αυτές περιλαμβάνουν την λεκάνη της Βαλτικής, όπου μόνο το τμήμα εκείνο που ανήκει στην Πολωνική δικαιοδοσία έχει μερικώς εξερευνηθεί, η λεκάνη Lublin στην Πολωνία πάλι, η λεκάνη Pannonian - Transylvanian στην Ουγγαρία και τη Ρουμανία καθώς και η λεκάνη Carpathian - Balkanian στη Ρουμανία και τη Βουλγαρία. Αντίθετα στις ΗΠΑ, η εξερεύνηση των σχηματισμών Marcellus, Barnett και Haynesville, για παράδειγμα βρίσκεται σε εξέλιξη αρκετά χρόνια. Αυτή η ανεπαρκής διαθεσιμότητα γεωλογικών πληροφοριών σε πολλές χώρες της ΕΕ σε σχέση με την Αμερική οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι υπήρξε μικρό επενδυτικό ενδιαφέρον στην ανάλυση του τύπου των πετρωμάτων και των πόρων του αερίου στο παρελθόν. Επομένως, η συλλογή και η ανάλυση των σχετικών γεωλογικών δεδομένων είναι το πρώτο μεγάλο εμπόδιο που οι εμπλεκόμενοι φορείς καλούνται να ξεπεράσουν.

5.7.2. Τεχνολογία

Η ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου κατέστη δυνατή μέσω του συνδυασμού των τεχνικών της υδραυλικής ρωγμάτωσης και της οριζόντιας γεώτρησης, φέρνοντας την επανάσταση στην βιομηχανία του μη συμβατικού αερίου. Με λίγα λόγια, μέσω μιας προηγμένης τεχνολογίας αντιμετωπίστηκε η ανάγκη των κάθετων γεωτρήσεων στα πετρώματα, και έτσι από την διάτρηση αυτή να απελευθερωθεί το σχιστολιθικό αέριο. Πρόσφατα στις ΗΠΑ, η διευρυμένη χρήση των εξέδρων γεώτρησης, όπου γίνεται γεώτρηση σε πολλαπλά φρέατα από μια τοποθεσία, μειώνει το λειτουργικό αποτύπωμα. Στην Ευρώπη, αυτή η τεχνολογία χρειάζεται να αναπτυχθεί ακόμα περισσότερο προκειμένου να αντιμετωπίσει θέματα που σχετίζονται με λιγότερες ελεύθερες μεγάλες χερσαίες εκτάσεις και υψηλής πληθυσμιακής πυκνότητας.

Επιπρόσθετα, επειδή πολλά πηγάδια στις ΗΠΑ παρουσιάζουν απότομη πτώση στην παραγωγή, γίνονται προσπάθειες βελτιστοποίησης της παραγωγής, ώστε το σχιστολιθικό αέριο να εξορύσσεται όσο το δυνατόν ταχύτερα. Αν και ο γενικός σχεδιασμός των εξέδρων γεώτρησης αναμένεται να είναι παρόμοιος τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ευρώπη, ο εξοπλισμός που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στα ευρωπαϊκά σχιστολιθικά κοιτάσματα χρειάζεται να τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να ανταπεξέλθει στο μεγαλύτερο βάθος και πιθανά στις υψηλότερες θερμοκρασίες του υπεδάφους της Ευρώπης.

Παρ' όλα αυτά, η διαθεσιμότητα του εξοπλισμού των γεωτρήσεων και της ρωγμάτωσης είναι περιορισμένη στην ΕΕ, σε σύγκριση με τις ΗΠΑ. Από τις αρχές του 2012, υπήρχαν περίπου 2.000 εξέδρες διαθέσιμες στις ΗΠΑ, ενώ στην Ευρώπη μόνο 72. Σύμφωνα με την συμβουλευτική εταιρία Wood Mackenzie ο εξοπλισμός υδραυλικής ρωγμάτωσης που είναι διαθέσιμος στην ΕΕ είναι πολύ μικρότερος σε σχέση με αυτόν στις ΗΠΑ. Επίσης το μεγαλύτερο τμήμα του εξοπλισμού των εξέδρων στις ΗΠΑ έχει ήδη αναπτυχθεί στην εγχώρια αγορά, χωρίς να υπάρχει πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα ώστε να μεταφερθεί στην Ευρώπη. Για την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, θα πρέπει οι εταιρίες που σχετίζονται με αυτό να παραγγείλουν νέο εξοπλισμό, είτε από τις ΗΠΑ είτε από τοπικούς κατασκευαστές, μια διαδικασία όμως χρονοβόρα (9 με 12 μήνες ανά εξέδρα κατά μέσο όρο) και ακριβή. Οι συνθήκες επίσης των ευρωπαϊκών αγορών, με πολλές χώρες να βιώνουν οικονομική κρίση, αποτελούν ένα ακόμη εμπόδιο στην εκμετάλλευση των ευρωπαϊκών σχιστολιθικών κοιτασμάτων.

Ωστόσο, υπάρχει ισχυρή θέληση μεταξύ ευρωπαϊκών εταιριών και άλλων ξένων εταιριών να αποκτήσουν μετοχές σε αμερικάνικες εταιρίες εκμετάλλευσης σχιστολιθικού αερίου που κατέχουν εμπειρία και τεχνογνωσία στη συγκεκριμένη βιομηχανία.

Ιστορικά, υπάρχουν λιγότερες επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στην εξερεύνηση και παραγωγή φυσικού αερίου στην Ευρώπη σε σχέση με τις ΗΠΑ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου στην ΕΕ εξαρτώνταν κυρίως από μεγάλες πολυεθνικές εταιρίες και όχι από μικρές και μεσαίες εταιρίες γεωτρήσεων. Επομένως, η βιομηχανία υπηρεσιών χερσαίων γεωτρήσεων στην Ευρώπη είναι λιγότερο αναπτυγμένη σε σύγκριση με εκείνη των ΗΠΑ. Από την άλλη πλευρά, η βιομηχανία σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ αναπτύσσεται συνεχώς από το 1980 εξαιτίας της ευνοϊκής φορολογίας και κανονιστικού πλαισίου. Η ΕΕ επομένως θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί τις εμπειρίες των εταιριών της Αμερικής και να βασίσει τις δραστηριότητες γεωτρήσεων στις πρακτικές που εφαρμόζονται στην Βόρεια Αμερική.

5.7.3. Κανονιστικό πλαίσιο

Το ευρωπαϊκό ρυθμιστικό πλαίσιο ως προς την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των επιμέρους χωρών. Παρ'όλο που η Ευρώπη θεωρείται ότι είναι μια ενιαία οντότητα μέσω της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι επιμέρους χώρες εξακολουθούν να έχουν πλήρη εξουσία στον καθορισμό της εθνικής τους νομοθεσίας. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν χώρες όπως η Γαλλία και η Βουλγαρία, όπου έχουν εφαρμοστεί προσωρινές απαγορεύσεις σε δραστηριότητες που περιλαμβάνουν την τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης λόγω των ανησυχιών για τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Μια έντονη αντίθεση στο εσωτερικό της ΕΕ μπορεί επίσης να εντοπιστεί μεταξύ της Γαλλίας – μιας χώρας που χαρακτηρίζεται από ισχυρούς παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας που αντιτίθενται στην ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου – και της Πολωνίας, όπου η βιομηχανία του σχιστολιθικού αερίου έχει πολλούς υποστηρικτές, καθιστώντας την έτσι πρωτοπόρο χώρα στην εκμετάλλευση των σχιστολιθικών πόρων σε Ευρωπαϊκό επίπεδο.

Ο συντονισμός των συμφερόντων των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, των κρατών μελών της Ενεργειακής Κοινότητας και άλλων συμμετεχόντων στην ενεργειακή αγορά είναι μια αρκετά σύνθετη διαδικασία. Αντίθετα, το ρυθμιστικό πλαίσιο στις ΗΠΑ είναι ιδιαίτερα εύνοικό σε κρατικό επίπεδο όσον αφορά την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου.

Ούτε η Ευρωπαϊκή Ένωση ούτε η Ενεργειακή Κοινότητα έχει προωθήσει νομοθεσία για το σχιστολιθικό αέριο, ενώ δεν προβέπεται να υπάρξει κάποιο σχέδιο νόμου σύντομα. Την ίδια στιγμή, ο ενεργειακός χάρτης της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το 2050 (EU's Energy Roadmap 2050 [40]) αναφέρει το σχιστολιθικό αέριο ως μια δυνητική πηγή ενέργειας που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Ορισμένες μεμονωμένες χώρες, όπως η Πολωνία, έχουν επιχειρηματολογήσει κατά οποιασδήποτε νομοθεσίας σε Ευρωπαϊκό επίπεδο που πειρορίζει την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου, επικαλούμενη την κυριαρχία κάθε κράτους μέλους επί της ανάπτυξης των δικών του φυσικών πόρων.

Αυτή η κατάσταση συνιστά και μια μεγάλη διαφορά σε σχέση με την διαδικασία αδειοδότησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση όπου η ιδιοκτησία της γής δεν σημαίνει αυτόματα την ιδιοκτησία των υποκείμενων μεταλλικών στοιχείων του υπεδάφους, εκτός αν προσδιορίζονται νόμιμα ότι ανήκουν στο κράτος. Αυτό όμως με τη σειρά του εμποδίζει τους ιδιώτες να επωφεληθούν από την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου, εκτός αν προχωρήσουν στην διαδικασία της ενοικίασης της γης, κάτι όμως που παρέχει πολύ μικρότερο κίνητρο για τη συνολική κοινωνική αποδοχή της εξερευνητικής διαδικασίας.

Χωρίς να υπάρχουν ακόμη ειδικές ρυθμίσεις για την εξερεύνηση και παραγωγή σχιστολιθικού αερίου, οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες καθοδηγούνται από την υπάρχουσα νομοθεσία για τις ρυθμίσεις του συμβατικού φυσικού αερίου, και από τις περιβαλλοντικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επομένως, η Ευρωπαϊκή

Επιτροπή δεν έχει εξουσία πάνω στους νόμους που αφορούν τους πόρους του υπεδάφους, αφήνοντας την ανάπτυξη των εν λόγω κανονισμών στις εθνικές πολιτικές των κρατών μελών.

5.7.4. Φορολογία

Δεν υπάρχει επί του παρόντος ειδική φορολογική νομοθεσία για το σχιστολιθικό αέριο σε οποιαδήποτε ευρωπαϊκή χώρα. Στην πλειονότητα των χωρών αυτών, η μόνη φορολογία που μπορεί να εφαρμοστεί στις δραστηριότητες που συνδέονται με το σχιστολιθικό αέριο είναι αυτή των υπαρχόντων φορολογικών ρυθμίσεων που διέπουν την ανάπτυξη του συμβατικού φυσικού αερίου. Ωστόσο, οι αρχές που συνδέονται με την ανάπτυξη του συμβατικού αερίου δεν μπορούν να εφαρμοστούν στην περίπτωση της εξερεύνησης του μη συμβατικού αερίου, λόγω των διαφορετικών τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή του και τις εγγενείς διαφορές μεταξύ των αντίστοιχων επιχειρηματικών μοντέλων. Τα σημερινά εργαλεία για την επιβολή φόρων επί της παραγωγής φυσικού αερίου σε διάφορες χώρες περιλαμβάνουν τέλη άδειας, συμφωνίες για το προϊόν, καθώς και ειδικούς φόρους υδρογονανθράκων. Αποτελεί κοινή πρακτική παγκοσμίως, τέτοιες μέθοδοι φορολογίας να εφαρμόζονται μέσω συνδυασμού μέτρων.

Σε όλες τις περιπτώσεις, το αέριο που προέρχεται από τους σχιστόλιθους είναι ένα ενεργειακό προϊόν, και επομένως εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής του ειδικού φορολογικού καθεστώτος που επικρατεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο ειδικός φόρος κατανάλωσης που εφαρμόζεται στην τελική κατανάλωση του φυσικού αερίου, έχει γενικά μεγαλύτερη επίδραση στους τελικούς καταναλωτές.

Η πολωνική κυβέρνηση, ως πρωτοπόρος στην Ευρωπαϊκή ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου, άρχισε να δουλεύει πάνω στους νέους φορολογικούς νόμους που θα διέπουν την εξερεύνηση και την παραγωγή μη συμβατικού αερίου το Δεκέμβριο του 2011. Στόχος της κυβέρνησης είναι να δημιουργήσει ένα σαφέστερο περιβάλλον ευνοϊκό για πιθανές επενδύσεις.

Προκειμένου να ενθαρρύνουν την περαιτέρω επένδυση στην ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, οι ευρωπαϊκές χώρες θα πρέπει να βελτιώσουν και να αναθεωρήσουν τα φορολογικά τους συστήματα και να λάβουν υπόψη τις ιδιαιτερότητες τόσο των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στην εξερεύνηση και παραγωγή του σχιστολιθικού αερίου όσο και τους τοπικούς κανονισμούς που ισχύουν στην βιομηχανία του φυσικού αερίου. Ενώ ορισμένες κυβερνήσεις έχουν αρχίσει τη σύνταξη σχετικής φορολογικής νομοθεσίας, οι περισσότερες χώρες της ΕΕ δεν έχουν προγραμματίσει καμία αλλαγή στις φορολογικές τους πολιτικές όσον αφορά την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου.

5.7.5. Περιβάλλον

Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες σχετικά με την εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου είναι ένα από τα κύρια ζητήματα που αντιμετωπίζει σήμερα ο κλάδος, και παραμένει ένα ισχυρό εμπόδιο στην επέκταση της βιομηχανίας του μη συμβατικού αερίου παγκοσμίως. Τα πιο βασικά θέματα τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην ΕΕ είναι παρόμοια, συμπεριλαμβανομένων των ανησυχιών σχετικά με την μόλυνση των υπόγειων υδάτων, τη κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων γλυκού νερού, την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και το ενδεχόμενο πρόκλησης σεισμικής δραστηριότητας σε περιοχές όπου χρησιμοποιείται η τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Επιπλέον οι πολιτικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις κυβερνητικές αποφάσεις για το σχιστολιθικό αέριο σε διάφορες χώρες δεν θα πρέπει να αγνοηθούν.

Ορισμένες μελέτες αναφέρουν ότι η γεώτρηση και η ρωγμάτωση ενός μόνο φρέατος στις ΗΠΑ απαιτεί μέχρι 17 εκατομμύρια λίτρα νερού. Δεδομένου ότι το σχιστολιθικό αέριο στην Ευρώπη βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος και η γεωθερμική βαθμίδα είναι υψηλότερη σε σχέση με άλλες περιοχές, η κατανάλωση ύδατος προβλέπεται να είναι πολύ μεγαλύτερη από αλλού. Την ίδια στιγμή, το νερό που επιστρέφει στην επιφάνεια μετά την διαδικασία της υδραυλικής ρωγμάτωσης περιέχει άλας και ανάλογα με την περιοχή ενδεχομένως ραδιενεργά στοιχεία. Η διαχείριση των υδάτων και η αποτελεσματική διάθεση των υγρών ρωγμάτωσης είναι ζωτικής σημασίας ζητήματα που χρήζουν αντιμετώπισης.

Εκτός από την διαχείριση των υδάτινων πόρων, μια ακόμα μεγάλη δημόσια ανησυχία είναι ο κίνδυνος της μόλυνσης των υπόγειων υδάτων. Καθώς διαρρηγνύονται τα φρέατα, το νερό που διοχετεύεται μέσα στο άνοιγμα είναι αναμειγμένο με χημικά πρόσθετα, μερικά από τα οποία είναι τοξικά και μπορεί να είναι αρκετά επιβλαβή για την υγεία και το περιβάλλον. Επειδή οι εταιρίες που παίρνουν μέρος στις γεωτρήσεις είναι υποχρεωμένες να γνωστοποιούν τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούν σε διαφορετικούς χρόνους και βαθμούς, ανάλογα με τους τοπικούς κανονισμούς, το ακριβές ποσό των δυνητικά επικίνδυνων χημικών ουσιών στις περιοχές που χρησιμοποιείται η τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης είναι δύσκολο να προσδιοριστεί.

Οι ειδικοί ισχυρίζονται ότι είναι απίθανο το μείγμα νερού να μπορεί να μολύνει τους υδροφόρους ορίζοντες απευθείας μέσω της διαδικασίας της ρωγμάτωσης, όσο βέβαια η γεώτρηση εκτελείται σύμφωνα με τα απαιτούμενα ποιοτικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα υπόγεια ύδατα βρίσκονται σε πιο ρηχά επίπεδα από εκείνα που βρίσκεται το σχιστολιθικό αέριο. Ωστόσο, υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με το κατά πόσον τα υγρά αναρροής μπορούν να διαρρεύσουν από τους αγωγούς λυμάτων και έτσι να επιβαρύνουν το περιβάλλον και την τροφοδοσία νερού.

Παρά αυτές τις ανησυχίες, οι εταιρίες που ασχολούνται με την εξερεύνηση και παραγωγή σχιστολιθικού αερίου ισχυρίζονται ότι η πλειοψηφία των θεμάτων

μπορούν να επιλυθούν μέσω τεχνολογικών εξελίξεων και λειτουργικών βελτιώσεων, καθώς και μέσω υψηλότερης ποιότητας εκτέλεσης εργασιών και αυστηρότερων προδιαγραφών ασφαλείας. Τα ζητήματα αυτά εξετάζονται πιο στενά από τις ρυθμιστικές αρχές της Ευρώπης σε σύγκριση με τις ΗΠΑ λόγω της πολιτικής της Ευρώπης σε περιβαλλοντικά θέματα.

5.7.6. Έργα υποδομής

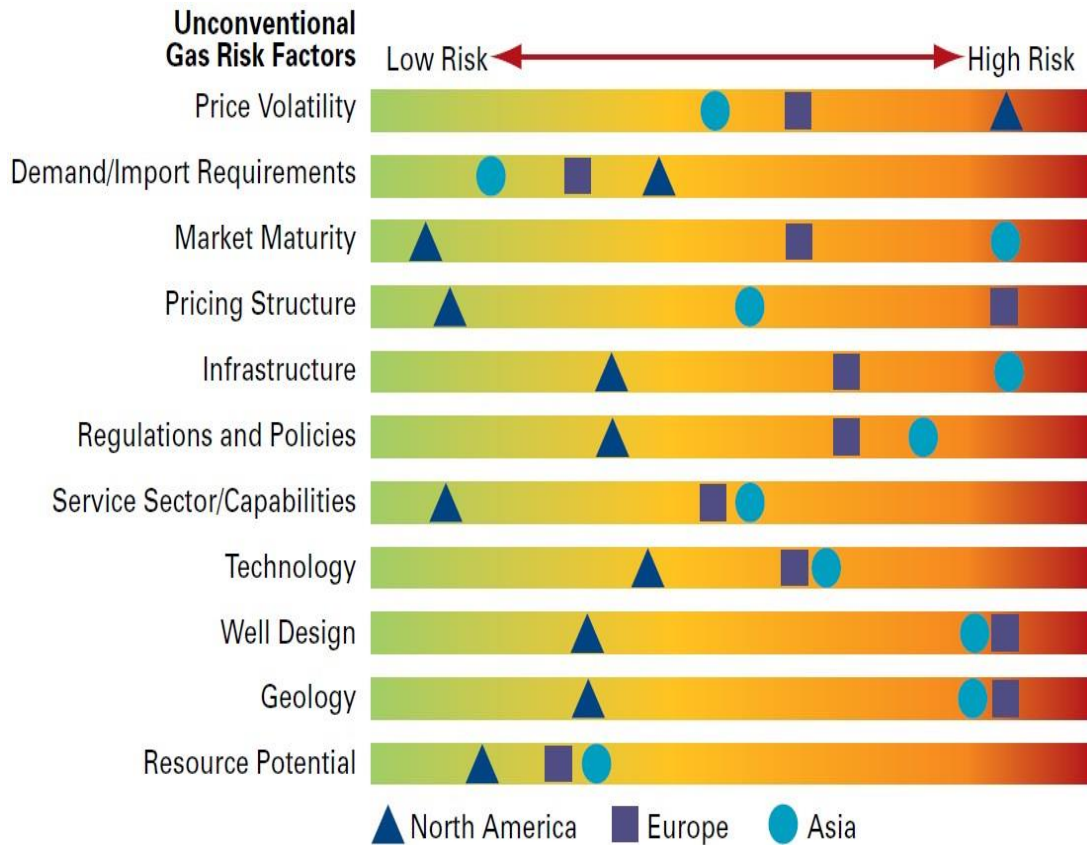
Μόλις παραχθεί, το σχιστολιθικό αέριο απαιτεί υποδομές μεταφοράς, προκειμένου να παραδοθεί στους καταναλωτές.

Οι αγωγοί φυσικού αερίου είναι το πιο κοινό μέσο μεταφοράς των καυσίμων εντός των χωρών της Ευρώπης, τόσο τοπικά όσο και σε μεγάλες αποστάσεις. Το δίκτυο των αγωγών έχει αναπτυχθεί σημαντικά στην Ευρώπη, ενώ οι τρέχουσες υποδομές είναι επαρκείς για υφιστάμενες ποσότητες που μεταφέρονται. Οι υποδομές για το δίκτυο αγωγών θα απαιτούσαν σημαντικές καινούριες επενδύσεις, εάν οι πρόσθετες ποσότητες σχιστολιθικού αερίου διοχετεύονταν στην Ευρωπαϊκή αγορά.

Η κατανάλωση ύδατος που συνδέεται με τις δραστηριότητες εξόρυξης του σχιστολιθικού αερίου απαιτεί υποδομές. Από οικονομικής πλευράς, μπορεί να περιορίσει την απόδοση ενός έργου, δεδομένου του σημαντικού κόστους προμήθειας νερού από μακρινές πηγές. Επί του παρόντος, δύο επιλογές χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ για την παροχή νερού στις περιοχές που γίνονται γεωτρήσεις – με βυτιοφόρα και με δίκτυο αγωγών αν η πηγή του νερού βρίσκεται μέσα σε απόσταση δύο ή τριών χιλιομέτρων από την τοποθεσία της γεώτρησης. Οι κύριες πηγές ύδατος είναι τα επιφανειακά ύδατα, τα υπόγεια ύδατα, το πόσιμο νερό και τα υγρά αναρροής από φρέατα που έχουν υποστεί ρωγμάτωση.

Παρόμοιες λύσεις αναμένεται να υιοθετηθούν και στην ΕΕ, αν και η διαθεσιμότητα και η επίδραση της αυξημένης κατανάλωσης ύδατος πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω, λαμβάνοντας υπόψη τη ευρωπαϊκή πραγματικότητα των υψηλότερων τιμών και των μεγαλύτερων περιβαλλοντικών ανησυχιών. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι αποστάσεις στην Ευρώπη μεταξύ των σχιστολιθικών σχηματισμών και των πληθυσμιακών κέντρων είναι μικρότερη, υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης έντονου ανταγωνισμού για τις πηγές νερού γεγονός που θα αύξανε το κόστος ακόμα περισσότερο. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν οικονομικά αποδοτικές λύσεις για την προμήθεια, διάθεση και διαχείριση των πόρων νερού που χρησιμοποιούνται κατά τις δραστηριότητες εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος επικίνδυνων για την υγεία διαρροών και να αντιμετωπιστεί η λαϊκή ανησυχία.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι διαφορές των παραγόντων κινδύνου στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Όπως φαίνεται ξεκάθαρα, οι προκλήσεις και οι κίνδυνοι που αντιμετωπίζει η Ευρώπη στην ανάπτυξη του μη συμβατικού αερίου είναι πολύ μεγαλύτεροι από εκείνους στην Βόρεια Αμερική.



Εικόνα 5.5: Παράγοντες κινδύνου του μη συμβατικού αερίου [42]

5.8. Δημόσια αποδοχή του σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ

Η ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με το σχιστολιθικό αέριο έχει αποκτήσει δυναμική τα τελευταία χρόνια, ιδίως όσον αφορά την υδραυλική ρωγμάτωση και τους πιθανούς κινδύνους της. Πολλές περιβαλλοντικές ομάδες έχουν θέσει μια σειρά προβληματισμών, ενώ οι επιστημονικές μελέτες που υποστηρίζουν την τεχνική αυτή αντιμετωπίζονται από την κοινή γνώμη με σκεπτικισμό.

Η κοινωνική ανησυχία για την γεώτρηση του σχιστολιθικού αερίου έχει ενθαρρύνει τις κυβερνήσεις να καταβάλλουν περισσότερες προσπάθειες στον τομέα της επιστημονικής έρευνας. Οι Ευρωπαϊκές χώρες ιδίως έχουν στραμμένη την προσοχή τους στην κοινή γνώμη, ενώ κάποιες από αυτές ενθαρρύνουν παράλληλα την αποδοχή των νέων αυτών πηγών ενέργειας ως πιθανή λύση για την εξασφάλιση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού και της μεγαλύτερης ανεξαρτησίας από τις εισαγωγές φυσικού αερίου.

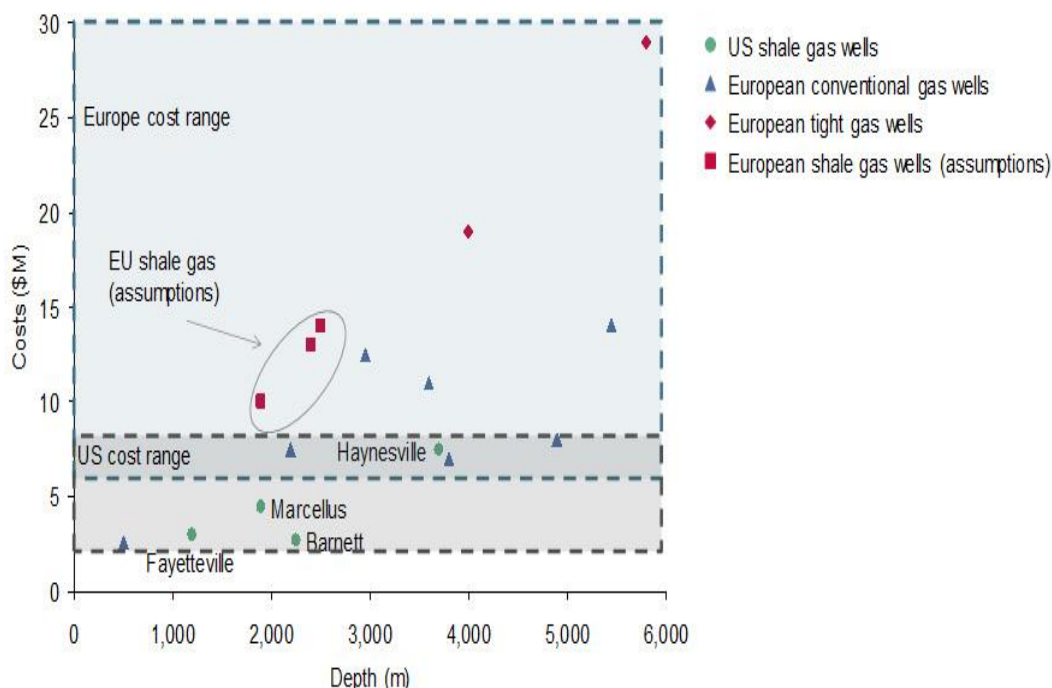
Υπό το πρίσμα αυτό, ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες έχουν ήδη αναπτύξει ισχυρές θέσεις υπέρ της εκμετάλλευσης του σχιστολιθικού αερίου, ενώ άλλες είναι κατά της παραγωγής του. Για παράδειγμα, ενώ η εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου έχει απαγορευτεί επ'αόριστον στην Βουλγαρία λόγω της αντιτιθέμενης κοινής γνώμης στην τεχνική της υδραυλικής ρωγμάτωσης, ο πληθυσμός της Πολωνίας υποστηρίζει σε μεγάλο βαθμό το σχιστολιθικό αέριο, λόγω κυρίως των οικονομικών πλεοκτημάτων του και της αυξημένης ενεργειακής ανεξαρτησίας που θα προκαλέσει.

5.9. Οικονομικές πτυχές της ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου

- **Επενδυτικά/λειτουργικά κόστη**

Η γεώτρηση ενός φρέατος σχιστολιθικού αερίου κοστίζει στις ΗΠΑ μεταξύ \$3 και \$10 εκατομμυρίων, ανάλογα με το βάθος και τη θέση. Για παράδειγμα το σχιστολιθικό αέριο στο κοιτάσμα Haynesville βρίσκεται σε βάθος 1.200-1.800 m. Από το 2010, το συνολικό κόστος, περιλαμβάνοντας το κόστος εξερεύνησης, απόκτησης και ανάπτυξης νέων αποθεμάτων (τόσο αποδεδειγμένων όσο και αναπτυσσόμενων), ξεκινούσε στα \$223/Mcm. Ωστόσο, τα μεγέθη αυτά δεν μπορούν να μεταφερθούν στην Ευρώπη, στην οποία το κόστος μπορεί να φτάσει έως και 5 φορές περισσότερο σε σχέση με αυτό του κοιτάσματος Haynesville. Συγκεκριμένα, το κόστος γεώτρησης του κοιτάσματος Haynesville το 2010 κυμαινόταν στα \$3 εκατομμύρια [ARI, 2011] και στο κοιτάσμα Marcellus \$4 εκατομμύρια [Deutsche Bank, 2011]. Ως μέτρο σύγκρισης, το κόστος γεωτρήσεων στην Πολωνία βρίσκεται στην περιοχή των \$10-15 εκατομμυρίων.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η διαφορά του κόστους ανάπτυξης φρέατος μη συμβατικού αερίου στην Ευρώπη και την Αμερική.



Εικόνα 5.6: Εύρος κόστους φρέατος στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ [8]

Λόγω των διαφορών στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, απαιτούνται πιο ισχυρές εξέδρες και αντλίες στην Ευρώπη σε σχέση με τις ΗΠΑ. Η μέθοδος της υδραυλικής ρωγμάτωσης απαιτεί μεγαλύτερη παροχή νερού, κάτι όμως που μπορεί να κοστίζει μέχρι 10 φορές περισσότερο απ'ότι στις ΗΠΑ. Επιπλέον, υπάρχουν 77% λιγότερες ανανεώσιμες πηγές νερού ανά κάτοικο στην Πολωνία για παράδειγμα σε σύγκριση με τις ΗΠΑ.

Μεταξύ των συνολικών δαπανών της εξερεύνησης και ανάπτυξης του σχιστολιθικού αερίου, οι δραστηριότητες που συνδέονται με την εκτέλεση της γεώτρησης εκτιμώνται ότι αντιπροσωπεύουν το 40%, ενώ η ολοκλήρωση και οι εγκαταστάσεις αντιστοιχούν στο υπόλοιπο.

Επειδή υπάρχουν λιγότερες εταιρίες στην Ευρώπη που επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη του μη συμβατικού αερίου, το κόστος για τις υπηρεσίες τους τείνει να είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο των εταιριών της Βόρειας Αμερικής. Το κόστος εξερεύνησης στην περιοχή της Ευρώπης ποικίλλει. Στην Πολωνία για παράδειγμα, ένα φρέαρ με βάθος 2.000 μέτρα εκτιμάται ότι κοστίζει περίπου \$11 εκατομμύρια, περίπου 3 φορές δηλαδή περισσότερο απ'όσο κοστίζει η γεώτρηση ενός φρέατος ίδιου βάθους στις ΗΠΑ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

6.1.Βασικές εξισώσεις του μοντέλου

Ενσωματώσαμε στο ενεργειακό μοντέλο ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ (E3-MLAB) πρόσθετες εξισώσεις προκειμένου να υπολογίσουμε την επίδραση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην εξάρτηση της Ευρώπης (EE-27, Νορβηγία, Ελβετία) από φυσικό αέριο. Το μοντέλο που κατασκευάσαμε είναι ντετερμινιστικό και περιλαμβάνει οικονομετρικές εξισώσεις για την εκτίμηση της τιμής του φυσικού αερίου στην Ευρώπη (EE-27, Νορβηγία, Ελβετία), της παραγωγής συμβατικού αερίου στην EE-27 και την Ελβετία, της παραγωγής συμβατικού αερίου στη Νορβηγία και της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη (EE-27, Νορβηγία, Ελβετία). Επίσης, το μοντέλο υπολογίζει την ζήτηση του φυσικού αερίου στην Ευρώπη (EE-27, Νορβηγία, Ελβετία), τα αποθέματα συμβατικού αερίου, την συνολική παραγωγή αερίου, τις εισαγωγές αερίου και τέλος τον βαθμό εξάρτησης της Ευρώπης (EE-27, Νορβηγία, Ελβετία) από εισαγωγές αερίου από άλλες χώρες.

Παρακάτω δίνονται οι βασικές εξισώσεις που χρησιμοποιήσαμε στο μοντέλο:

- **Ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη (EE-27, Νορβηγία, Ελβετία)**

Η ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη καθορίζεται εξωγενώς (ως προς το υπομοντέλο που δημιουργήσαμε) και προέρχεται από το κυρίως κομμάτι του μοντέλου ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ. Στον ΠΡΟΜΗΘΕΑ η ζήτηση των κύριων καυσίμων προέρχεται από τρεις τομείς, τον βιομηχανικό, τον οικιακό και τον τομέα των μεταφορών. Καθορίζεται κυρίως από την οικονομική ανάπτυξη (π.χ. αύξηση του ΑΕΠ, της βιομηχανικής παραγωγής, του διαθέσιμου εισοδήματος για τα νοικοκυριά) και τις τιμές των καυσίμων. Η ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη επηρεάζεται από την τιμή του φυσικού αερίου στην Ευρώπη (που υπολογίζει το μοντέλο μας).

- **Τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη (EE-27, Νορβηγία, Ελβετία)**

Θεωρούμε ότι η τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη καθορίζεται από την παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου και από τον βαθμό εξάρτησης της Ευρώπης σε εισαγωγές αερίου από άλλες χώρες.

$$\text{gasprice_eu} = a1 + b1 * \text{gasprice} + c1 * (\text{imports_eu}/\text{demandgas_eu})$$

Τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης στο EVIEWS φαίνονται παρακάτω:

Dependent Variable: LOG(GASPRICE_EU/GASPRICE)

Method: Least Squares

Date: 04/25/13 Time: 18:27

Sample: 1995 2011

Included observations: 17

Convergence achieved after 6 iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
A1	0.619818	0.342635	1.808976	0.092
PDL01	0.065444	0.058082	1.126761	0.2788
AR(1)	0.455841	0.22314	2.042846	0.0604
R-squared	0.322335	Mean dependent var		0.225411
Adjusted R-squared	0.225526	S.D. dependent var		0.060184
S.E. of regression	0.052964	Akaike info criterion		-2.879613
Sum squared resid	0.039273	Schwarz criterion		-2.732575
Log likelihood	27.47671	F-statistic		3.32959
Durbin-Watson stat	1.397453	Prob(F-statistic)		0.06563

Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα παλινδρόμησης για την τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη

Πιο συγκεκριμένα, η οικονομετρική εκτίμηση έδειξε ότι υψηλότερες παγκόσμιες τιμές αερίου οδηγούν σε υψηλότερες τιμές φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Επίσης, μεγαλύτερη εξάρτηση της Ευρώπης από εισαγωγές αερίου από άλλες χώρες οδηγεί πάλι σε υψηλότερες τιμές αερίου (θετική συσχέτιση).

- **Παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στην ΕΕ-27 και την Ελβετία**

Θεωρήσαμε ότι η παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στην ΕΕ-27 και την Ελβετία καθορίζεται από την ζήτηση, την τιμή αερίου στην Ευρώπη και τα διαθέσιμα αποθέματά της.

$$\text{prodgas_eu} = a2 * \text{reserves_eu} + b2 * \text{demandgas_eu} + c2 * \text{gasprice_eu}$$

Τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης στο EVIEWS φαίνονται παρακάτω:

Dependent Variable: LOG(PRODGAS_EU)

Method: Least Squares

Date: 04/25/13 Time: 18:47

Sample: 1990 2011

Included observations: 22

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(GAS_DEMAND)	0.148382	0.068225	2.174898	0.0425
LOG(RESERVES_EU)	0.527895	0.044807	11.78141	0
PDL01	0.005888	0.00284	2.073327	0.052
R-squared	0.724629	Mean dependent var		5.457033
Adjusted R-squared	0.695642	S.D. dependent var		0.109835
S.E. of regression	0.060595	Akaike info criterion		-2.643099
Sum squared resid	0.069762	Schwarz criterion		-2.494321
Log likelihood	32.07409	Durbin-Watson stat		0.707335

Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα παλινδρόμησης για την παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στην ΕΕ-27 και την Ελβετία

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης, υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της ζήτησης φυσικού αερίου στην ΕΕ-27 και της παραγωγής συμβατικού φυσικού αερίου (ελαστικότητα $b_2=0,148$). Όταν υπάρχει δηλαδή αύξηση της ζήτησης φυσικού αερίου από τις χώρες της ΕΕ-27 τότε αυτές αυξάνουν την παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου για να καλύψουν τμήμα της ζήτησης. Επίσης υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των αποθεμάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε φυσικό αέριο και της παραγωγής του.

- **Παραγωγή συμβατικού αερίου στη Νορβηγία**

Θεωρήσαμε ότι η παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στη Νορβηγία καθορίζεται από την διαφορά μεταξύ της ζήτησης αερίου στην Ευρώπη και της παραγωγής αερίου. Η παραγωγή αερίου περιλαμβάνει την παραγωγή συμβατικού αερίου στην υπόλοιπη Ευρώπη εξαιρώντας τη Νορβηγία καθώς και την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη. Πιο συγκεκριμένα, όταν οι ανάγκες της Ευρώπης σε εισαγωγές αερίου αυξάνονται, δηλαδή η προαναφερθείσα διαφορά αυξάνεται, τότε η παραγωγή αερίου στη Νορβηγία αυξάνεται προκειμένου να καλύψει τμήμα αυτής της διαφοράς. Στην αντίθετη περίπτωση στην οποία οι ανάγκες της Ευρώπης σε εισαγωγές μειώνονται, μειώνεται παράλληλα και η παραγωγή συμβατικού αερίου στη Νορβηγία.

$$\text{prodgas_nor} = a_3 * (\text{demandgas_eu} - \text{prodgas_eu} - \text{shalegas_eu})$$

Τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης στο EVIEWS φαίνονται παρακάτω:

Dependent Variable: LOG(PRODGAS_NOR)

Method: Least Squares

Date: 04/25/13 Time: 19:24

Sample: 1990 2010

Included observations: 21

Convergence achieved after 13 iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(GAS_DEMAND-PRODGAS_EU2)	0.814146	0.109973	7.403155	0
AR(1)	0.950263	0.069844	13.60555	0
R-squared	0.970714	Mean dependent var	4.003949	
Adjusted R-squared	0.969172	S.D. dependent var	0.493248	
S.E. of regression	0.086604	Akaike info criterion	-1.964557	
Sum squared resid	0.142504	Schwarz criterion	-1.865078	
Log likelihood	22.62784	Durbin-Watson stat	1.685887	

Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα παλινδρόμησης για την παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στη Νορβηγία

- **Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη (EE-27, Νορβηγία, Ελβετία)**

Η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη καθορίζεται από τα διαθέσιμα αποθέματα τής. Η εκτίμηση της οικονομετρικής εξίσωσης είναι η ακόλουθη:

$$\log(\text{shalegas_eu}) = a4 * \log(\text{rsvshale_eu})$$

Υπάρχει θετική συσχέτιση (ελαστικότητα $a4=0,53$) μεταξύ των αποθεμάτων σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη και της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου.

- **Συνολική παραγωγή αερίου στην Ευρώπη (EE-27, Νορβηγία, Ελβετία)**

Η συνολική παραγωγή αερίου στην Ευρώπη είναι το άθροισμα της παραγωγής συμβατικού αερίου στην EE-27 και την Ελβετία, της παραγωγής συμβατικού αερίου στη Νορβηγία και της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη.

$$\text{totprodgas_eu} = \text{prodgas_eu} + \text{prodgas_nor} + \text{shalegas_eu}$$

- **Εισαγωγές φυσικού αερίου στην Ευρώπη (EE-27, Νορβηγία, Ελβετία)**

Οι εισαγωγές φυσικού αερίου στην Ευρώπη δίνονται από την διαφορά μεταξύ της ζήτησης αερίου και της συνολικής παραγωγής.

$$\text{imports_eu} = \text{demandgas_eu} - \text{totprodgas_eu}$$

- **Βαθμός εξάρτησης Ευρώπης (EE-27, Νορβηγία, Ελβετία) σε φυσικό αέριο**

Ο βαθμός εξάρτησης της Ευρώπης σε φυσικό αέριο δίνεται από τις εισαγωγές αερίου προς την ζήτηση.

$$\text{depend_eu} = \text{imports_eu}/\text{demandgas_eu}$$

- **Αποθέματα σχιστολιθικού αερίου**

Τα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου δίνονται από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{rsvshale_eu} = \text{ogip_shale_eu} * \text{rf_shale} - \text{shalegas_eu}(-1)$$

Δηλαδή, προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό της συνολικής ποσότητας αερίου στο κοίτασμα (OGIP) με τον συντελεστή απόληψης (Recovery Factor) αφαιρώντας την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου της Ευρώπης του προηγούμενου έτους.

- **Συντελεστής απόληψης (recovery factor)**

Ο συντελεστής απόληψης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{rf_shale} = \text{st_shale}/(1 + 1 + e^{(-0.1 * (\text{av_gasprice}/7.35 - 37)))}$$

όπου st_shale : επίπεδο κορεσμού

Θεωρούμε την τιμή 37\$/boe ως τιμή αναφοράς πάνω από την οποία οι πόροι σχιστολιθικού αερίου γίνονται οικονομικά απολήψιμοι.

6.2. Διαμόρφωση σεναρίων

Προκειμένου να εξετάσουμε την επίδραση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στον βαθμό εξάρτησης της Ευρώπης (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία) από εισαγωγές φυσικού αερίου δημιουργήσαμε δύο σενάρια.

Παρακάτω περιγράφονται τα δύο σενάρια:

- **Σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία (Σενάριο αναφοράς)**

Στο σενάριο αναφοράς θεωρούμε ότι μόνο η Πολωνία παράγει σχιστολιθικό αέριο σε ολόκληρη την Ευρώπη. Επιλέξαμε την Πολωνία καθώς οι μεσοπρόθεσμες προοπτικές για παραγωγή μη συμβατικού αερίου εμφανίζονται πιο ευνοϊκές σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη. Ήδη έχουν διεξαχθεί προηγμένες διερευνητικές γεωτρήσεις στη χώρα αυτή και γενικότερα υπάρχουν λιγότερα εμπόδια αξιοποίησης των κοιτασμάτων μη συμβατικού αερίου. Επίσης, η αισιοδοξία για τις δυνατότητες παραγωγής σχιστολιθικού αερίου της Πολωνίας προέρχεται και από το μέγεθος των πόρων της, αν και υπόκειται σε μεγάλη αβεβαιότητα. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Πληροφοριών Ενέργειας της Αμερικής (ΕΙΑ), το συνολικό αέριο στο κοίτασμα (OGIP) στην Πολωνία είναι 22,4 tcm ενώ οι τεχνικά απολήψιμοι πόροι είναι 5,3 tcm [5]. Ο Medlock et al [6] στην μελέτη που δημοσίευσε το 2011 αναφέρει ποσότητα 3,4 tcm τεχνικά απολήψιμων πόρων σχιστολιθικού αερίου ενώ η αμερικάνικη ΕΙΑ το 2009 αναφέρει ποσότητα 20 tcm αερίου στο κοίτασμα και 3 tcm τεχνικά απολήψιμους πόρους [4]. Στο σενάριο αυτό, θεωρήσαμε ότι η Πολωνία διαθέτει ποσότητα 5 tcm αερίου στο κοίτασμα, μια (σχετικά) συντηρητική εκτίμηση όπως προκύπτει και από τις προαναφερθείσες μελέτες. Επιπλέον, θεωρήσαμε συντελεστή απόληψης που κυμαίνεται από 1 μέχρι 25% με προοδευτική αύξηση μέσα στον ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου.

- **Σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ**

Στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ θεωρήσαμε ότι το πλαίσιο στην Ευρώπη για την εκμετάλλευση των σχιστολιθικών κοιτασμάτων είναι ιδιαίτερα ευνοϊκό με κύριο στόχο της ενεργειακής της πολιτικής την ενίσχυση της ενεργειακής της ασφάλειας με την ταυτόχρονη απεξάρτηση από το ρωσικό εισαγόμενο φυσικό αέριο. Η Ευρώπη διαθέτει πολλούς πόρους σχιστολιθικού αερίου (40 tcm) ενώ η τεχνογνωσία σχετικά με την εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου και την οικονομική παραγωγή του μεταφέρεται από τις ΗΠΑ στην Ευρώπη. Τα περιβαλλοντικά εμπόδια σχετικά με τη νέα πηγή ενέργειας ξεπερνιούνται ενώ η δημόσια αποδοχή ενθαρρύνει την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου. Το ρυθμιστικό και φορολογικό πλαίσιο ευνοούν

την εκμετάλλευση του ενώ πραγματοποιούνται μια σειρά επενδύσεων σε υποδομές μεταφοράς και διανομής του αερίου. Στο σενάριο αυτό η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου ξεκινά προοδευτικά από το 2015 με μικρές ωστόσο παραχθείσες ποσότητες το πρώτο διάστημα. Ο συντελεστής απόληξης κυμαίνεται από 1-40% με προοδευτική αύξηση μέχρι το 2050.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συνοπτικά οι υποθέσεις για την διαμόρφωση των δύο σεναρίων.

Υποθέσεις Σεναρίων		
	Αέριο στο Κοίτασμα (OGIP)	Επίπεδο κορεσμού της απόληξης (St)
παραγωγή shale gas στην Πολωνία	5 tcm (μόνο η Πολωνία)	1%-25%
παραγωγή shale gas στην ΕΕ	40 tcm (συνολικά η ΕΕ)	1%-40%

Πίνακας 6.4: Υποθέσεις σεναρίων

6.3.Ανάλυση αποτελεσμάτων

6.3.1. Παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στην ΕΕ-27

Η παραγωγή συμβατικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2010 ανερχόταν σε 201 bcm. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου και στα δύο εξεταζόμενα σενάρια, η παραγωγή ακολουθεί πτωτική τάση με μέσο ετήσιο ρυθμό -4% φτάνοντας τα 40 bcm το 2050. Η σωρευτική παραγωγή συμβατικού αερίου στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ από το 2010 μέχρι το 2050 είναι 3.982 bcm ενώ στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία είναι 6 bcm υψηλότερη. Οι διαφορές της παραγωγής στα δύο εξεταζόμενα σενάρια είναι ασήμαντες μεταξύ τους καθώς η παραγωγή συμβατικού αερίου επηρεάζεται κυρίως από τα διαθέσιμα αποθέματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα οποία σημειώνουν σημαντική μείωση από το 2000 και μετά ενώ με τους τωρινούς ρυθμούς παραγωγής προβλέπεται να εξαντληθούν σύντομα. Επιπρόσθετα, το μερίδιο της παραγωγής συμβατικού αερίου στην Ευρώπη στην κάλυψη της πρωτογενούς ζήτησης της σε αέριο μειώνεται σημαντικά από 38% το 2010 σε μόλις 9% το 2050 στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία, ενώ στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ μειώνεται από 38% το 2010 σε 8% το 2050.

Τα αριθμητικά αποτελέσματα του μοντέλου για την παραγωγή συμβατικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση στα δύο σενάρια φαίνονται ανά δεκαετία από το 2010 μέχρι το 2050 στον ακόλουθο πίνακα:

	2010	2020	2030	2040	2050
Σενάριο παραγωγής shale gas στην Πολωνία (bcm)	201	124	89	67	40
Σενάριο παραγωγής shale gas στην ΕΕ(bcm)	201	124	89	67	40
Μερίδιο στην κάλυψη της ζήτησης (παραγωγή shale gas στην Πολωνία)	38%	24%	18%	15%	9%
Μερίδιο στην κάλυψη της ζήτησης (παραγωγή shale gas στην ΕΕ)	38%	24%	18%	14%	8%

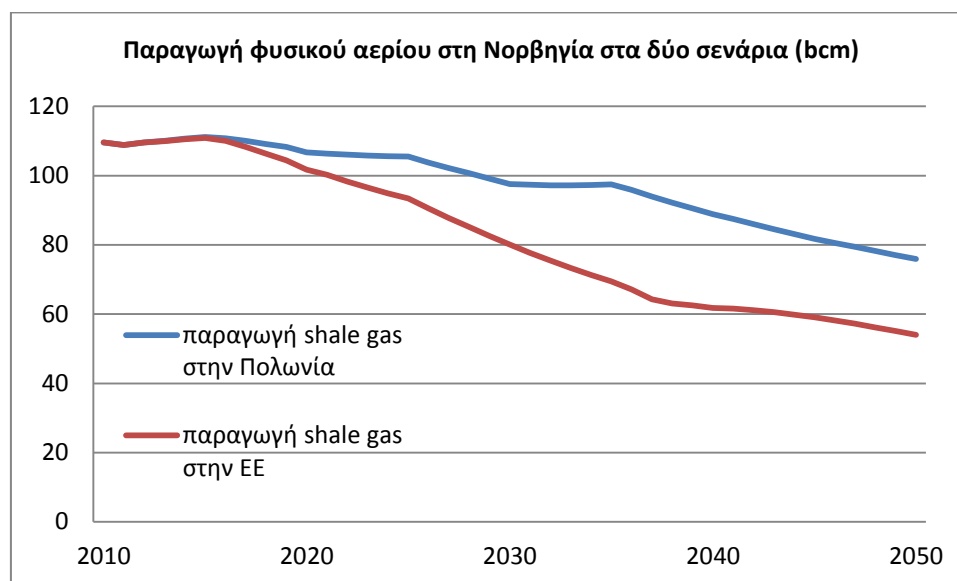
Πίνακας 6.5: Παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στην ΕΕ-27 και μερίδιο στην κάλυψη της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου στα δύο σενάρια

6.3.2. Παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στη Νορβηγία

Η παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στη Νορβηγία ανερχόταν στα 110 bcm το 2010. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου για το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία, η παραγωγή σημειώνει πτώση το επόμενο διάστημα μέχρι το 2050 με μέσο ετήσιο ρυθμό 0,9%. Το έτος 2050 η ετήσια παραγωγή συμβατικού αερίου στη Νορβηγία φτάνει τα 76 bcm, 30% πιο χαμηλά από την παραγωγή του έτους αναφοράς. Ο κύριος λόγος της μείωσης της παραγωγής συμβατικού αερίου στη Νορβηγία σε αυτό το σενάριο είναι η μείωση της πρωτογενούς ζήτησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε φυσικό αέριο το διάστημα 2010-2050. Επίσης η εξάντληση των αποθεμάτων συμβατικού αερίου της Βόρειας Θάλασσας συμβάλλει στην μείωση της παραγωγής φυσικού αερίου στη Νορβηγία. Η σωρευτική παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στη Νορβηγία το διάστημα 2010-2050 φτάνει τα 4.000 bcm.

Στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, η παραγωγή συμβατικού αερίου στη Νορβηγία πέφτει από τα υψηλά των 110 bcm του 2010 σε 54 bcm το 2050. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός μείωσης της παραγωγής είναι 1,8%, διπλάσιος από τον αντίστοιχο του σεναρίου αναφοράς για το ίδιο χρονικό διάστημα. Η σωρευτική παραγωγή αερίου στη Νορβηγία στο σενάριο αυτό φτάνει τα 3.368 bcm από το 2010 μέχρι το 2050. Η ποσότητα αυτή είναι κατά 632 bcm μικρότερη της αντίστοιχης του σεναρίου αναφοράς. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη είναι σημαντική και καλύπτει μεγαλύτερο τμήμα της ευρωπαϊκής ζήτησης σε φυσικό αέριο. Οι ανάγκες της Ευρώπης για εισαγωγές φυσικού αερίου μειώνονται και επομένως στο σενάριο αυτό, η Νορβηγία παράγει μικρότερη ποσότητα αερίου.

Στο επόμενο διάγραμμα, φαίνεται η παραγωγή συμβατικού αερίου στη Νορβηγία το διάστημα 2010-2050 στα δύο σενάρια.



Διάγραμμα 6.1: Παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στη Νορβηγία στα δύο σενάρια το διάστημα 2010-2050 (σε bcm)

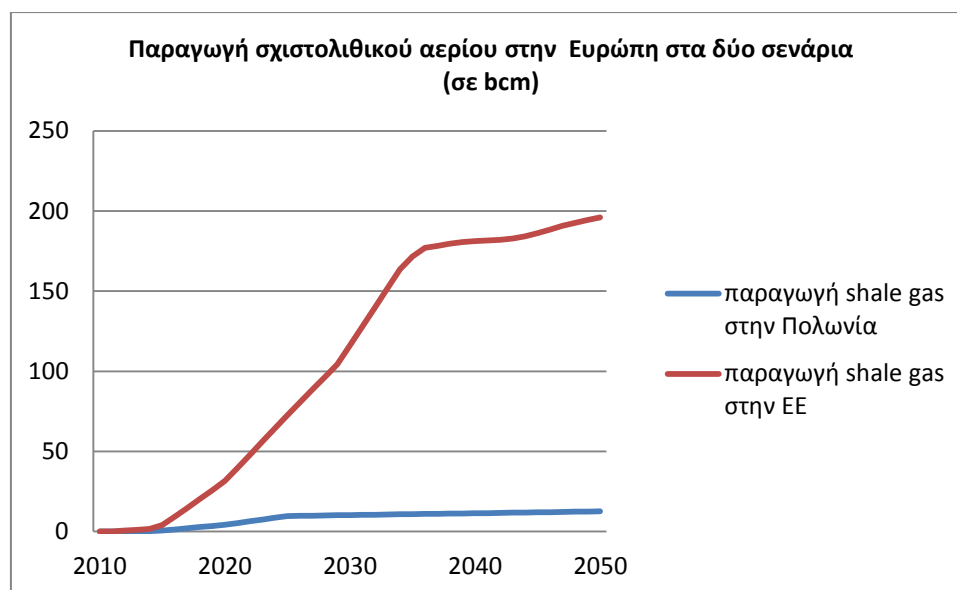
6.3.3. Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου, στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία, η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου ξεκινά στην Πολωνία το 2015 με μόλις 1 bcm. Το επόμενο διάστημα μέχρι το 2030 αυξάνεται φτάνοντας τα 9,6 bcm. Από το 2030 συνεχίζεται η αύξηση της παραγωγής με μικρότερο όμως ρυθμό και φτάνει τα 12,5 bcm το 2050. Η σωρευτική παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία το διάστημα 2010-2050 είναι 331 bcm. Η ποσότητα αυτή ισοδυναμεί με σχεδόν 7% του αερίου στο κοίτασμα (OGIP) που θεωρούμε στο σενάριο αυτό ότι διαθέτει η Πολωνία. Το μερίδιο της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στη ζήτηση αερίου της Ευρώπης διατηρείται σε επίπεδα 1-3% κατά τη διάρκεια πρόβλεψης του μοντέλου ενώ το μερίδιο στη συνολική παραγωγή από 2% το 2020 φτάνει περίπου το 10% το έτος 2050.

Στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου ξεκινά στην Ευρώπη το 2015 με 4 bcm. Το διάστημα 2015-2035 αυξάνεται και φτάνει τα 72 bcm το 2025 και τα 172 bcm το 2035. Στη συνέχεια η παραγωγή αυξάνεται με μικρότερο ρυθμό φτάνοντας τα 195 bcm το 2050. Η αύξηση αυτή στην παραγωγή σχιστολιθικού αερίου αντισταθμίζει την συνεχιζόμενη πτώση της παραγωγής συμβατικού φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Η σωρευτική παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη από το έτος αρχικής παραγωγής μέχρι και το 2050 είναι 4.406 bcm. Η ποσότητα αυτή είναι κατά 11% μεγαλύτερη από την σωρευτική παραγωγή συμβατικού αερίου της ΕΕ-27 και 31% μεγαλύτερη από την

σωρευτική παραγωγή της Νορβηγίας το ίδιο χρονικό διάστημα. Επίσης, ισοδυναμεί με το 11% του συνολικού αερίου στο κοίτασμα (OGIP) που θεωρήσαμε ότι διαθέτει η Ευρώπη. Το μερίδιο της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στη συνολική παραγωγή αερίου της Ευρώπης είναι μόλις 12,2% το 2020 ενώ το 2050 φτάνει το 67,5% και το μερίδιο στην κάλυψη της συνολικής ζήτησης αερίου είναι μόλις 6% το 2020 ενώ το 2050 είναι 40%.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη από το 2010 μέχρι το 2050 στα δύο σενάρια.



Διάγραμμα 6.2: Παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (σε bcm)

Στους παρακάτω δύο πίνακες συνοψίζονται ανά σενάριο τα αριθμητικά αποτελέσματα του μοντέλου για την παραγωγή συμβατικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση και τη Νορβηγία ξεχωριστά καθώς και την παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία). Επίσης φαίνεται το μερίδιο του σχιστολιθικού αερίου στην συνολική παραγωγή αερίου στην Ευρώπη.

Σενάριο παραγωγής shale gas στην Πολωνία

	2010	2020	2030	2040	2050	2010-2050*
ΕΕ-27+Ελβετία	201	124	89	67	41	-3.90%
Νορβηγία	110	107	98	89	76	-0.90%
Συνολικό Συμβατικό	311	231	187	156	117	-2.40%
Shale Gas	0	4	10	11	13	7.6%**
Συνολικό αέριο	311	235	197	167	129	-2.20%
Μερίδιο Shale Gas	0.00%	1.80%	5.20%	6.80%	9.70%	

* μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης

** διάστημα 2015-2050

Σενάριο παραγωγής shale gas στην ΕΕ

	2010	2020	2030	2040	2050	2010-2050*
ΕΕ-27+Ελβετία	201	124	89	67	40	-4.00%
Νορβηγία	110	102	80	62	54	-1.80%
Συνολικό Συμβατικό	311	226	169	128	94	-2.90%
Shale Gas	0	32	116	181	196	14.9%**
Συνολικό αέριο	311	257	286	310	290	-0.20%
Μερίδιο Shale Gas	0.00%	12.20%	40.70%	58.50%	67.50%	

*μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης

**διάστημα 2015-2050

Πίνακας 6.6: Παραγωγή φυσικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια

6.3.4. Ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία)

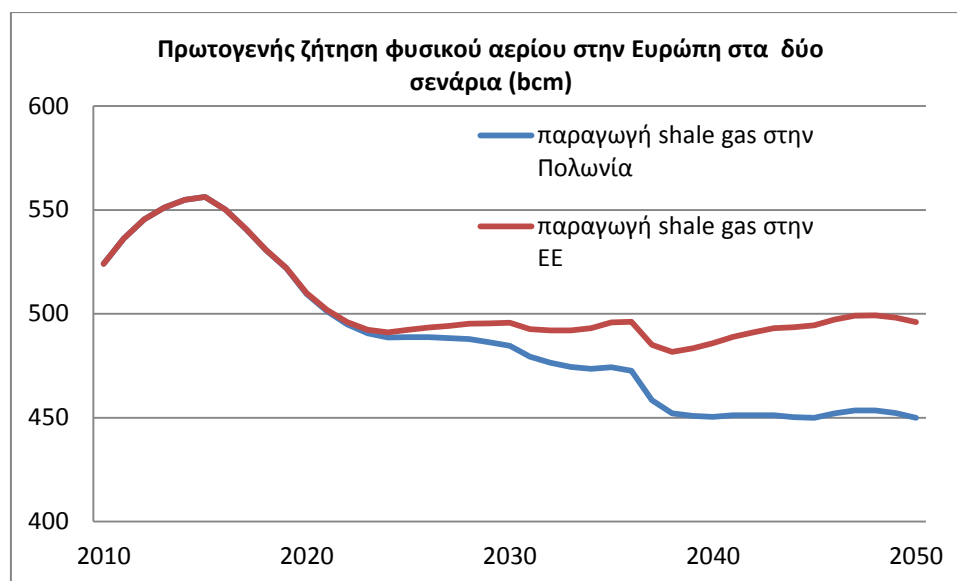
Η ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία) το 2010 ανερχόταν στα 524 bcm. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου, στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία η ζήτηση μειώνεται όλο το διάστημα μέχρι το 2050 με μέσο ετήσιο ρυθμό 0,38%. Η πτώση αυτή οφείλεται στην κλιματική πολιτική της ΕΕ καθώς έχει θέσει στόχους για το 2020 σχετικά με το κλίμα και την ενέργεια, όπως η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η περαιτέρω ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ζήτηση φυσικού αερίου φτάνει στα χαμηλότερα επίπεδα της το 2050 με ποσότητα 450 bcm.

Στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, η ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη ακολουθεί μικρή πτωτική τάση μέχρι το 2050 με μέσο ετήσιο ρυθμό 0,13%. Ο ρυθμός μείωσης αυτός είναι σχεδόν ίσος με το ένα τρίτο του αντίστοιχου στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία και οφείλεται στο γεγονός ότι οι τιμές φυσικού αερίου στην Ευρώπη στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες του σεναρίου αναφοράς. Επίσης, παρότι σημειώνεται πτώση της ζήτησης φυσικού αερίου μέχρι το 2040 τα επόμενα χρόνια μέχρι το 2050, η ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη ακολουθεί αυξητικές τάσεις φτάνοντας τα 496 bcm το 2050.

Συγκρίνοντας την ζήτηση φυσικού αερίου στα δύο σενάρια, παρατηρούμε ότι είναι αυξημένη στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ σε σχέση με το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία. Χαρακτηριστικά το έτος 2030 η ζήτηση φυσικού αερίου στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ είναι 496 bcm, αυξημένη κατά 2,3% σε σχέση με το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία, και το έτος 2050 είναι πάλι 496 bcm στο

σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, αυξημένη κατά 10% σε σχέση με τη ζήτηση στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία που σημειώνει σημαντική πτώση και φτάνει τα 450 bcm. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στην πτώση τιμών του φυσικού αερίου στην Ευρώπη λόγω της μείωσης της εξάρτησης της Ευρώπης (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία) για εισαγωγές αερίου με την παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας μη συμβατικού φυσικού αερίου.

Οι διαφορές στη ζήτηση φυσικού αερίου στα δύο εξεταζόμενα σενάρια φαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 6.3: Πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια το διάστημα 2010-2050 (σε bcm)

6.3.5. Εξάρτηση της Ευρώπης (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία) από τις εισαγωγές φυσικού αερίου

Οι εισαγωγές της Ευρώπης σε φυσικό αέριο το 2010 ανέρχονταν σε 213 bcm. Η εξάρτηση της το ίδιο έτος σε εισαγωγές ήταν περίπου 41%. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου για το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία, οι εισαγωγές αερίου αυξάνονται το διάστημα 2010-2050 με μέσο ετήσιο ρυθμό 1%. Επίσης, και η εξάρτηση της Ευρώπης σε εισαγωγές αερίου από άλλες χώρες αυξάνεται στο διάστημα 2010-2050. Το 2050 οι εισαγωγές της Ευρώπης σε φυσικό αέριο αποτελούν το 71% της ζήτησης.

Αντίθετα, στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, οι εισαγωγές αερίου αυξάνονται από το 2010 μέχρι το 2020, καθώς δεν έχει ξεκινήσει η παραγωγή σημαντικής ποσότητας μη συμβατικού αερίου στην Ευρώπη, ενώ στη συνέχεια σημειώνουν σημαντική πτώση φτάνοντας τα χαμηλότερα επίπεδα το 2040. Το 2050 οι εισαγωγές της Ευρώπης σε φυσικό αέριο ανέρχονται σε 206 bcm. Παρόμοια πορεία ακολουθεί και η εξάρτηση της Ευρώπης σε φυσικό αέριο φτάνοντας το 2050 σε επίπεδα εξάρτησης ίδια με αυτά του 2010. Η διατήρηση της εξάρτησης της Ευρώπης σε ίδια επίπεδα με αυτά του 2010 οφείλεται στην κάλυψη μεγάλου τμήματος των ενεργειακών αναγκών της από το σχιστολιθικό αέριο.

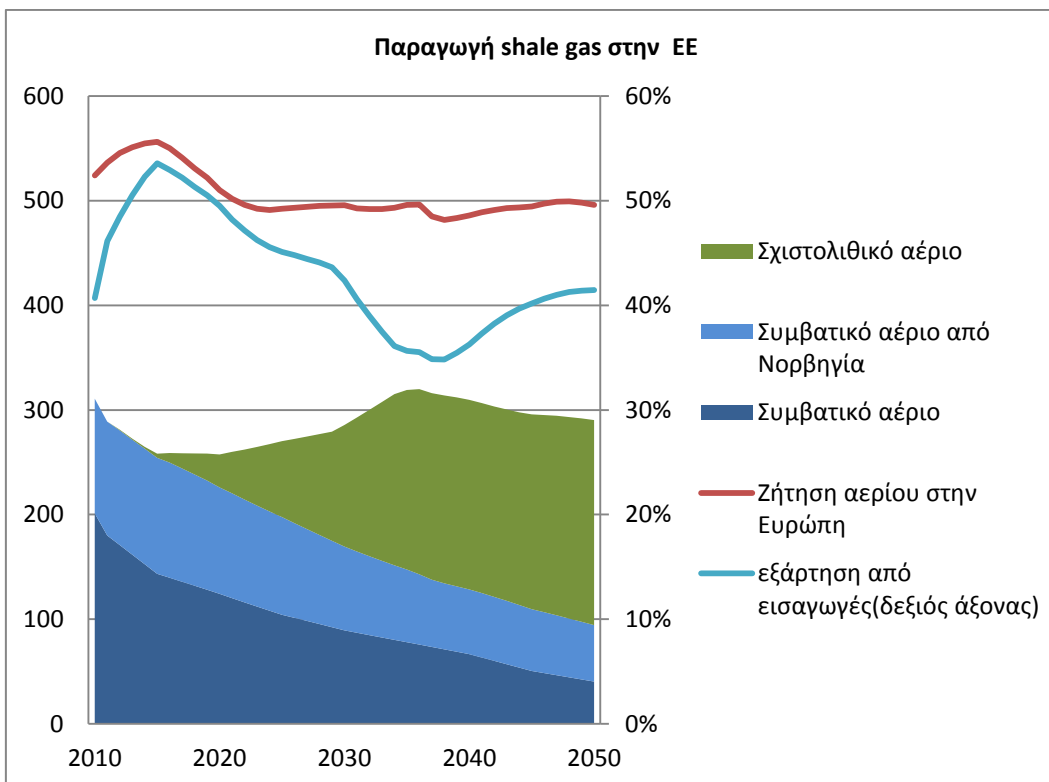
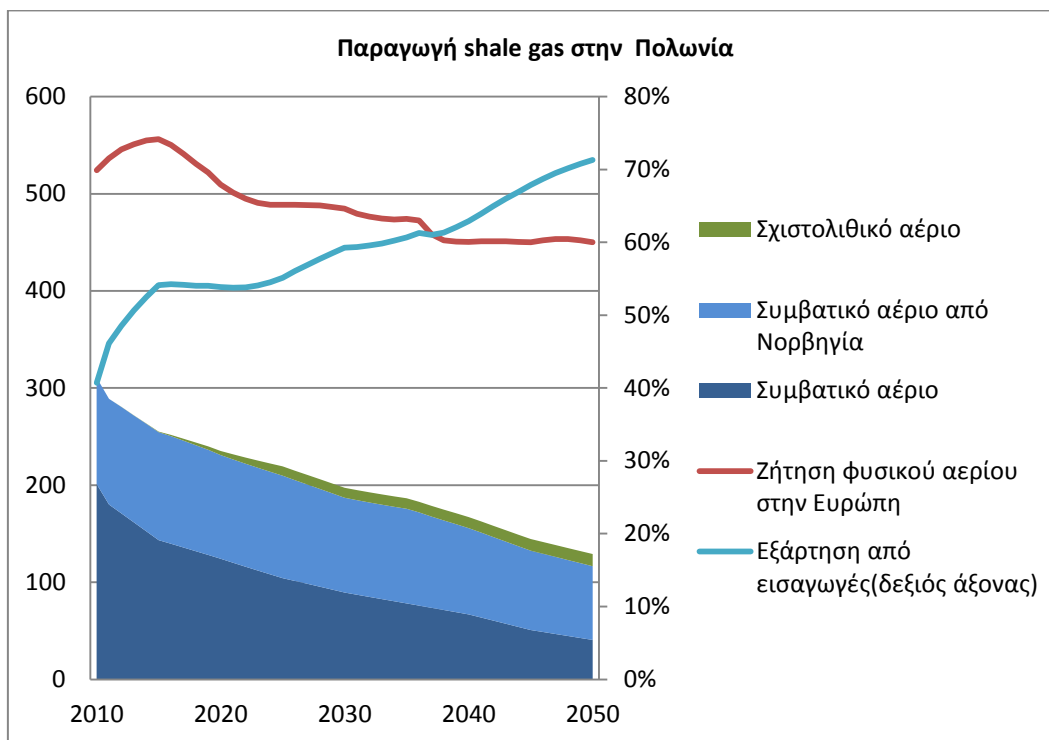
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου για τα δύο σενάρια, προκύπτει ότι η Ευρώπη στο σενάριο παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ καταφέρνει να διατηρήσει την εξάρτηση της σε φυσικό αέριο από άλλες χώρες στα ίδια επίπεδα με σήμερα γεγονός που έχει τεράστια γεωπολιτική και οικονομική σημασία. Χαρακτηριστικά, στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία το 2030 οι εισαγωγές της Ευρώπης σε φυσικό αέριο είναι 287 bcm και το 2050 είναι 321 bcm, ενώ οι αντίστοιχες ποσότητες στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ είναι 210 bcm και 205 bcm αντίστοιχα. Επομένως, οι εισαγωγές φυσικού αερίου στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ είναι κατά 27% χαμηλότερες το 2030 και κατά 36% χαμηλότερες το 2050 σε σχέση με τις εισαγωγές στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι εισαγωγές αερίου της Ευρώπης και ο βαθμός εξάρτησης της συγκεκριμένες χρονιές του ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου:

	2010	παραγωγή shale gas στην Πολωνία		παραγωγή shale gas στην ΕΕ	
		2030	2050	2030	2050
Εισαγωγές αερίου(bcm)	213	287	321	210	206
Βαθμός εξάρτησης	41%	59%	71%	42%	42%

Πίνακας 6.7: Εισαγωγές αερίου και βαθμός εξάρτησης της Ευρώπης στα δύο σενάρια

Στα παρακάτω δύο διαγράμματα συνοψίζονται όλα τα προαναφερθέντα αποτελέσματα του μοντέλου από το 2010 μέχρι το 2050.



Διάγραμμα 6.4: Συνοπτικά αποτελέσματα του μοντέλου για την επίδραση του σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη

6.3.6. Μεριδία κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη αυξάνεται το διάστημα 2010-2050 και στα δύο εξεταζόμενα σενάρια. Το 2010 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη ανέρχεται σε 3.523 TWh. Στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη αυξάνεται κατά 39% το διάστημα 2010-2050 ακολουθώντας μέση ετήσια αύξηση 0,8%. Το 2030 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη ανέρχεται σε 4.162 TWh, αυξημένη κατά 18% σε σχέση με την αντίστοιχη το 2010 και το 2050 φτάνει τις 4.886 TWh.

Στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ακολουθεί παρόμοια πορεία με αυτή του σεναρίου αναφοράς. Η μέση ετήσια αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη στο σενάριο αυτό είναι ίδια με αυτή του σεναρίου αναφοράς. Το 2030 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη ανέρχεται σε 4.166 TWh ενώ το 2050 φτάνει στα υψηλότερα επίπεδα της με 4.893 TWh. Οι διαφορές μεταξύ των δύο σεναρίων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι αμελητέες.

Το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική, βιομάζα) στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη διπλασιάζεται και στα δύο εξεταζόμενα σενάρια το διάστημα 2010-2050. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνιστούν την κυρίαρχη πηγή παραγωγής ηλεκτρισμού σε όλο τον ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου. Η άυξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη οφείλεται στα ισχυρά κυβερνητικά προγράμματα και οικονομικά κίνητρα της Ευρώπης για αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό της μείγμα. Ωστόσο, μακροπρόθεσμα, το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού είναι ελαφρώς μικρότερο στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Χαρακτηριστικά, το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή στο σενάριο αναφοράς το 2050 είναι 51% ενώ στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ το αντίστοιχο μερίδιο είναι 49%. Ο κύριος λόγος της διαφοράς αυτής είναι ότι στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ η ζήτηση φυσικού αερίου στην ΕΕ είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του σεναρίου αναφοράς και επομένως ένα μεγάλο κομμάτι αυτής της διαφοράς φυσικού αερίου χρησιμοποιείται στην ηλεκτροπαραγωγή μειώνοντας την διείσδυση των ΑΠΕ.

Το μερίδιο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία μειώνεται από 21% το 2010 σε 20% το 2030 ενώ μειώνεται περαιτέρω φτάνοντας το 16% το 2050. Αντίθετα, στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ το μερίδιο του φυσικού αερίου διατηρείται σε σταθερά επίπεδα στο 20% σε όλο τον ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου. Ο κύριος λόγος της διαφοράς ανάμεσα στα μερίδια της ηλεκτροπαραγωγής στην Ευρώπη από το φυσικό αέριο είναι οι χαμηλότερες τιμές φυσικού αερίου στην

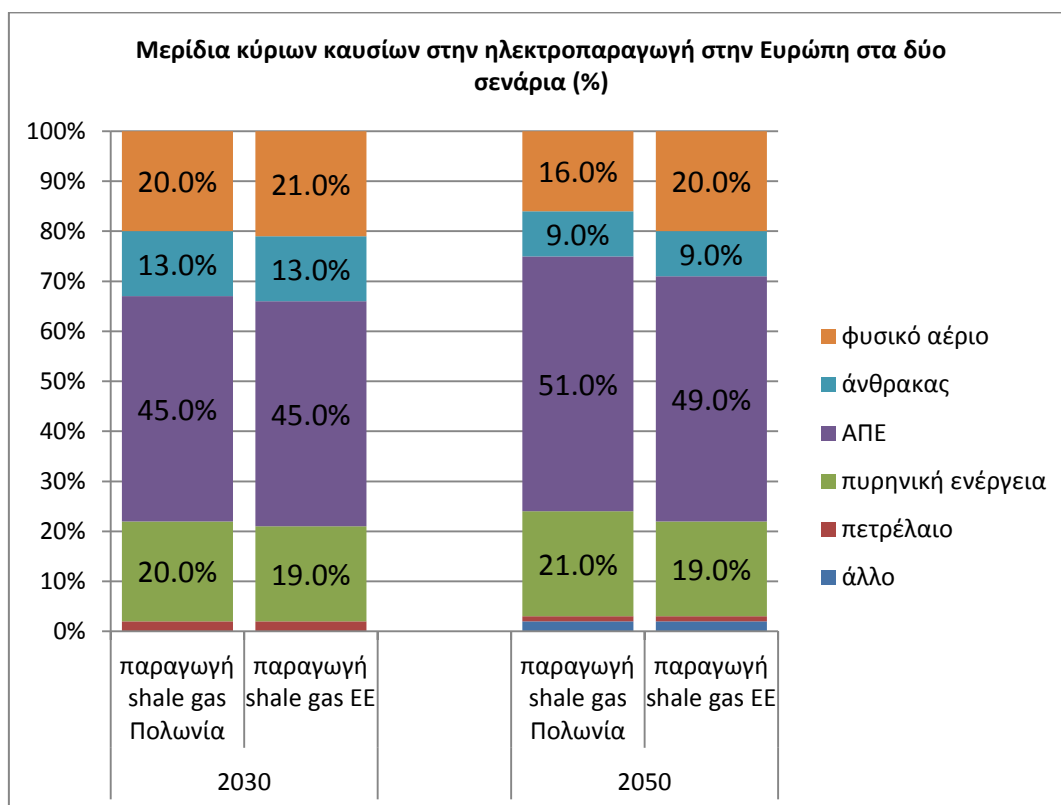
Ευρώπη στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου σε όλη την ΕΕ σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Οι μειωμένες τιμές οδηγούν στην διατήρηση της ζήτησης σε σταθερά επίπεδα σε όλο τον ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου και έτσι διατηρείται σταθερό και το μερίδιο στην ηλεκτροπαραγωγή.

Το μερίδιο της πυρηνικής ενέργειας μειώνεται και στα δύο εξεταζόμενα σενάρια σημαντικά. Ο κύριος λόγος της μείωσης του μεριδίου της πυρηνικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη είναι η απόφαση αρκετών χωρών της Ευρώπης για σταδιακή κατάργηση και ακύρωση όλων των υφιστάμενων και μελλοντικών αντιδραστήρων τους για λόγους ασφάλειας μετά το πυρηνικό ατύχημα στη Φουκουσίμα. Ωστόσο η μείωση είναι μεγαλύτερη στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία καθώς στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ η μεγαλύτερη προσφορά φυσικού αερίου οδηγεί σε μειωμένες συγκριτικά τιμές φυσικού αερίου και επομένως η ζήτηση φυσικού αερίου είναι μεγαλύτερη στο σενάριο αυτό σε σχέση με το σενάριο αναφοράς καλύπτοντας τμήμα της παραγωγής ηλεκτρισμού στην Ευρώπη. Χαρακτηριστικά, το μερίδιο της πυρηνικής ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία είναι 20% το 2030 και 21% το 2050 ενώ τα αντίστοιχα μερίδια στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ είναι 20% και 19%.

Το μερίδιο του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη μειώνεται σημαντικά και στα δύο εξεταζόμενα σενάρια από 25% το 2010 σε 9% το 2050. Ο κύριος λόγος της μείωσης του μεριδίου του άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη είναι οι υψηλές τιμές διοξειδίου του άνθρακα που επιβάλλονται και καθιστούν την παραγωγή ηλεκτρισμού από άνθρακα μη ανταγωνιστική σε σχέση με τις υπόλοιπες πηγές ενέργειας.

Το μερίδιο του πετρελαίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη σημειώνει πτώση 50% το διάστημα 2010-2050 και στα δύο εξεταζόμενα σενάρια. Το μερίδιο του πετρελαίου στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη μειώνεται από 2% το 2010 σε 1% το 2050. Η μείωση αυτή οφείλεται κυρίως στις αυξανόμενες τιμές πετρελαίου και στο μειούμενο κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού από άλλες πηγές που καθιστούν την ηλεκτροπαραγωγή από πετρέλαιο μη ανταγωνιστική.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα μερίδια των κύριων καυσίμων στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη στα δύο εξεταζόμενα σενάρια το 2030 και το 2050.



Διάγραμμα 6.5: Μερίδια κύριων καυσίμων στην ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη

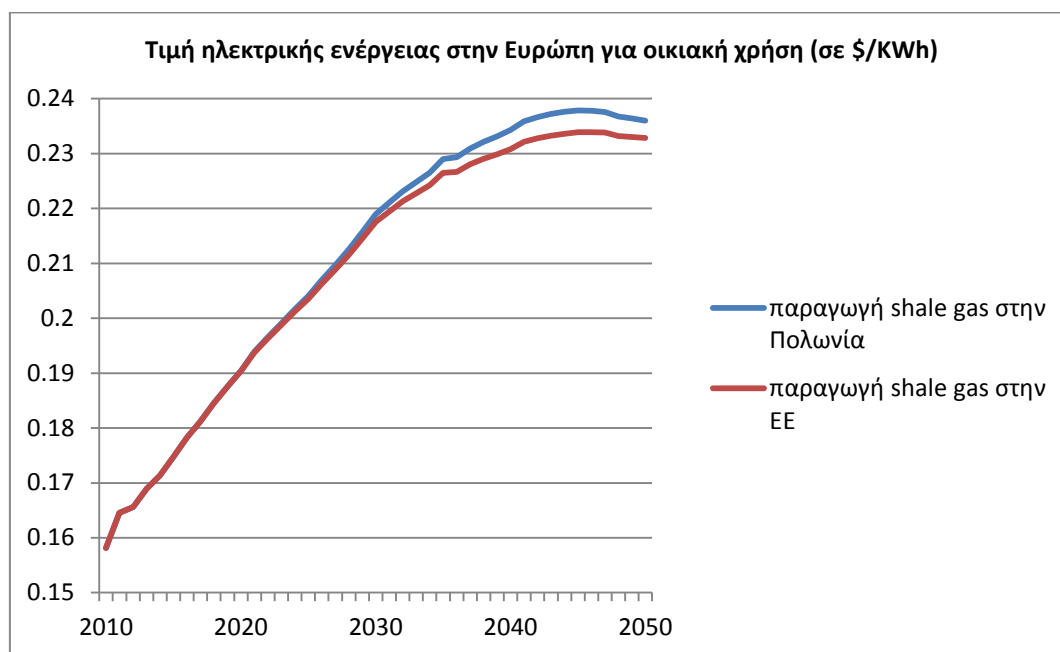
6.3.7. Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή χρήση

Η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή χρήση στην Ευρώπη το 2010 ανερχόταν σε 0,16 \$/KWh. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία, η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή χρήση στην Ευρώπη αυξάνεται με μέσο ετήσιο ρυθμό 1% το διάστημα 2010-2050. Το 2030, η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη ανέρχεται σε 0,22 \$/KWh, αυξημένη κατά 38% σε σχέση με την αντίστοιχη το 2010 ενώ το 2050 ανέρχεται σε 0,24 \$/KWh, αυξημένη κατά 50% σε σχέση με την αντίστοιχη το 2010.

Αντίθετα, στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή χρήση στην Ευρώπη το 2030 είναι μειωμένη κατά 0,63% σε σχέση με την αντίστοιχη στο σενάριο αναφοράς, και το 2050 είναι μειωμένη κατά 1,35% σε σχέση με την αντίστοιχη στο σενάριο αναφοράς. Στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή χρήση αυξάνεται κατά 47% από το 2010 στο 2050.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου στα δύο σενάρια, παρατηρούμε ότι και στα δύο σενάρια η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται από τα επίπεδα του 2010 κυρίως λόγω της στροφής προς την χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν μεγαλύτερο κόστος, της αύξησης των τιμών φυσικού αερίου στην Ευρώπη και της μείωσης της χρήσης της πυρηνικής ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή. Το διάστημα 2010-2050 η τιμή του φυσικού αερίου στην Ευρώπη αυξάνεται κατά 70% στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία, ενώ το ίδιο διάστημα στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ η τιμή φυσικού αερίου αυξάνεται κατά 51%. Ωστόσο, η διαφορά της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας στα δύο εξεταζόμενα σενάρια είναι σχετικά μικρή σε όλο τον ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου παρά την διαφορά στην τιμή φυσικού αερίου που παρατηρείται στα δύο σενάρια. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζεται και από άλλους παράγοντες εκτός από την τιμή φυσικού αερίου όπως το κόστος των γραμμών μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, το κόστος κατασκευής και συντήρησης των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα σταθερά και μεταβλητά κόστη της ηλεκτροπαραγωγής και τα ρυθμιστικά πλαίσια ανάμεσα στις χώρες της ΕΕ. Η τιμή φυσικού αερίου επηρεάζει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου οι οποίες καλύπτουν σχεδόν το 20% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (καθώς χρησιμοποιούνται και τεχνολογίες άλλων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας). Επίσης, η αύξηση της ζήτησης του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, οδηγεί σε μείωση του μεριδίου της πυρηνικής ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή στην ΕΕ. Όμως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την πυρηνική ενέργεια είναι φθηνότερη συγκριτικά με την χρήση φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η εξέλιξη της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή χρήση στην Ευρώπη.

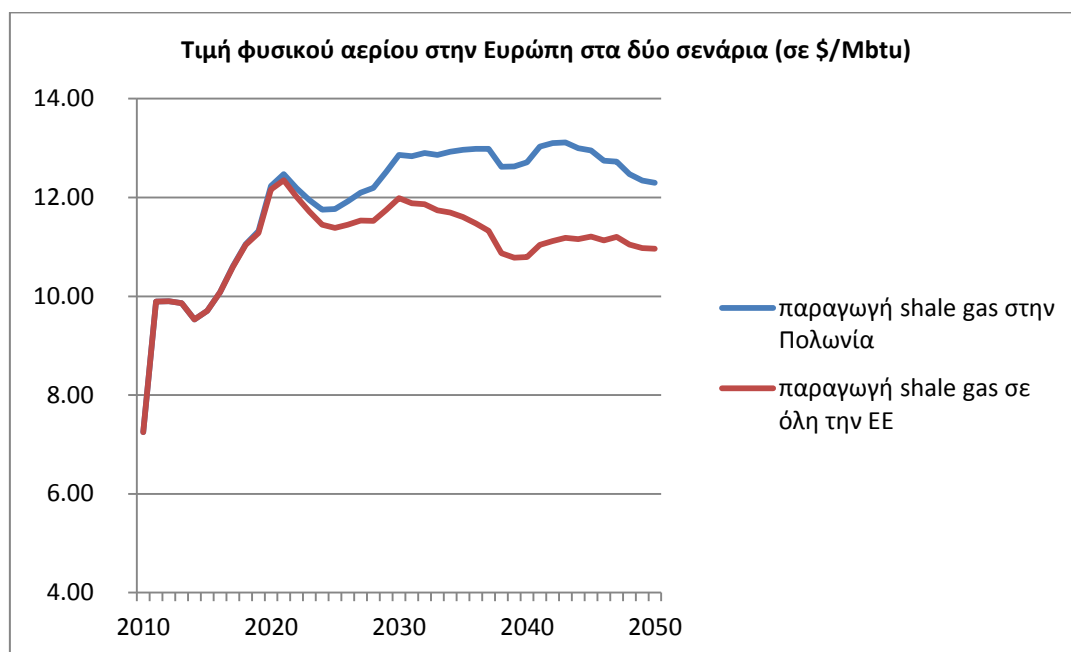


Διάγραμμα 6.6: Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη για οικιακή χρήση (σε \$/KWh)

6.3.8. Τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία)

Η τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη (ΕΕ-27, Νορβηγία, Ελβετία) καθορίζεται σε σημαντικό βαθμό από την εξάρτηση της σε εισαγωγές αερίου από άλλες χώρες. Στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία, η εξάρτηση της Ευρώπης αυξάνεται από 41% το 2010 σε 71% το 2050 ενώ αντίθετα στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ, η εξάρτηση της παραμένει σταθερή γύρω στο 41% όλο αυτό το χρονικό διάστημα. Η διαφορά αυτή επιδρά σημαντικά στην ευρωπαϊκή τιμή φυσικού αερίου. Το 2030 η τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ είναι 11,99 \$/Mbtu, κατά 7% χαμηλότερη από εκείνη του σεναρίου αναφοράς, ενώ το 2050 η τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη είναι 10,96 \$/Mbtu, κατά 11% μικρότερη από αυτή του σεναρίου αναφοράς. Παρατηρούμε ότι η παραγωγή σημαντικής ποσότητας σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση της τιμής φυσικού αερίου στην Ευρώπη μακροπρόθεσμα. Το γεγονός αυτό έχει αντίκτυπο στην ενίσχυση της ενεργειακής και οικονομικής ανταγωνιστικότητας της Ευρώπης. Εκτός από την μείωση του ενεργειακού κόστους στην Ευρώπη με την παραγωγή σημαντικής ποσότητας σχιστολιθικού αερίου, μειώνεται επίσης και ο κίνδυνος των διακυμάνσεων της τιμής φυσικού αερίου.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η πορεία που ακολουθούν οι τιμές φυσικού αερίου στην Ευρώπη το διάστημα 2010-2050 στα δύο εξεταζόμενα σενάρια.



Διάγραμμα 6.7: Τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (σε \$/Mbtu)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αριθμητικά αποτελέσματα του μοντέλου για την τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο εξεταζόμενα σενάρια:

	2010	2020	2030	2040	2050
παραγωγή shale gas στην Πολωνία	7,25	12,23	12,86	12,71	12,30
παραγωγή shale gas στην ΕΕ	7,25	12,16	11,99	10,79	10,96

Πίνακας 6.8: Τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη στα δύο σενάρια (σε \$/Mbtu)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας μελετήσαμε την επίδραση της εκμετάλλευσης των παγκόσμιων αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου σε βασικές μεταβλητές του ενεργειακού και περιβαλλοντικού συστήματος σε παγκόσμιο επίπεδο. Κατασκευάσαμε ένα μοντέλο στο οποίο εφαρμόσαμε δύο σενάρια (σενάριο αναφοράς και σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου) και εξετάσαμε την επίδραση της διεύρυνσης της παγκόσμιας προμήθειας φυσικού αερίου στην παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου, στον λόγο των παγκόσμιων αποθεμάτων προς την παγκόσμια παραγωγή του φυσικού αερίου, στην πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου, άνθρακα και πετρελαίου, στα μερίδια των κύριων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις παγκόσμιες εκπομπές CO₂.

Παρακάτω συνοψίζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου με παράλληλη σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με το σενάριο αναφοράς.

- Η παγκόσμια τιμή του φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου σημειώνει μέση ετήσια αύξηση 0,9% το διάστημα 2010-2050 (η μέση ετήσια αύξηση στο σενάριο αναφοράς είναι διπλάσια). Η πιθανότητα η ετήσια αύξηση να ξεπεράσει το 2% είναι μόλις 12% ενώ στο σενάριο αναφοράς είναι 42%. Η διαφορά ανάμεσα στους ρυθμούς αύξησης της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου στα δύο σενάρια οφείλεται στο γεγονός ότι στο σενάριο αναφοράς τα αποθέματα φυσικού αερίου μειώνονται πιο γρήγορα σε σχέση με το σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου καθώς στο σενάριο αναφοράς περιλαμβάνονται μόνο τα αποθέματα συμβατικού φυσικού αερίου. Το 2030 η μέση παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου είναι 72,5 \$/boe, μειωμένη κατά 21% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς και το 2050 είναι 67,8\$/boe, μειωμένη κατά 32% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Η πιθανότητα η παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου να είναι μικρότερη από αυτήν του σεναρίου αναφοράς είναι 100% όλο το διάστημα 2020-2050. Θεωρώντας ότι η παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου καθορίζεται κυρίως από τον λόγο των παγκόσμιων αποθεμάτων φυσικού αερίου προς την παγκόσμια παραγωγή του (R/P λόγος), η κύρια αιτία της διαφοράς που παρατηρείται στην τιμή φυσικού αερίου στα δύο σενάρια είναι ο μεγαλύτερος R/P λόγος φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου καθώς έχουμε προσθέσει τα παγκόσμια αποθέματα μη συμβατικού αερίου. Επομένως, η εκμετάλλευση των παγκόσμιων αποθεμάτων μη συμβατικού φυσικού αερίου οδηγεί σε χαμηλότερη παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου.

- Ο μέσος λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή άνθρακα στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου το 2030 είναι 3,7, 12% μικρότερος από αυτόν του σεναρίου αναφοράς και το 2050 ο μέσος λόγος είναι 2,6, 19% μικρότερος από αυτόν του σεναρίου αναφοράς. Επίσης, η πιθανότητα ο λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή άνθρακα να είναι μικρότερος από αυτόν του σεναρίου αναφοράς είναι 96% το 2030 και 88% το 2050. Η κύρια αιτία της διαφοράς αυτής ανάμεσα στους λόγους της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή άνθρακα στα δύο σενάρια είναι ότι η προσθήκη των αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου οδηγεί σε μειωμένη τιμή φυσικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς και επομένως σε μειωμένους λόγους στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου. Οι μικρότεροι μέσοι λόγοι της τιμής φυσικού αερίου προς την τιμή άνθρακα αλλά και οι μεγάλες πιθανότητες οι παραπάνω λόγοι να είναι μικρότεροι στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς θα καθορίσουν την μελλοντική υποκατάσταση του άνθρακα από το φυσικό αέριο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και την μετάβαση σε μια μελλοντική οικονομία με χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Επομένως η εκμετάλλευση των παγκόσμιων αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου οδηγεί σε μικρότερους λόγους παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς παγκόσμια τιμή άνθρακα.
- Ο μέσος λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή πετρελαίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου το 2030 είναι 0,72, μειωμένος κατά 19% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, και το 2050 ο μέσος λόγος είναι 0,57, μειωμένος κατά 27% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Επίσης οι πιθανότητες ο λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή πετρελαίου να είναι μικρότερος στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς είναι σχεδόν 100% σε όλο τον ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου. Η κύρια αιτία που ο λόγος της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή πετρελαίου είναι μικρότερος στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς είναι η μεγαλύτερη πτώση των τιμών φυσικού αερίου που προκαλεί η μεγάλη προσφορά φυσικού αερίου με την προσθήκη των μη συμβατικών πόρων του σε σχέση με την άνοδο της τιμής του πετρελαίου και στα δύο σενάρια. (Η παγκόσμια τιμή πετρελαίου ακολουθεί την ίδια ανοδική πορεία το διάστημα 2010-2050 και στα δύο σενάρια). Οι μικρότεροι λόγοι της παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς την παγκόσμια τιμή πετρελαίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς είναι πολύ σημαντικοί για μελλοντικές επενδύσεις στον τομέα των μεταφορών προκειμένου να επεκταθεί ακόμα περισσότερο η χρήση του φυσικού αερίου

στα οχήματα αλλά και σε βιομηχανικές και οικιακές χρήσεις (π.χ. οικιακή θέρμανση). Επομένως η εκμετάλλευση των παγκόσμιων μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου οδηγεί σε μικρότερους λόγους παγκόσμιας τιμής φυσικού αερίου προς παγκόσμια τιμή πετρελαίου.

- Ο λόγος των παγκόσμιων αποθεμάτων φυσικού αερίου προς την παγκόσμια παραγωγή του (R/P λόγος) σημειώνει το διάστημα 2010-2050 μέση ετήσια μείωση 0,5% (η μέση ετήσια μείωση στο σενάριο αναφοράς είναι 1,5%). Η πιθανότητα η ετήσια μείωση του λόγου των παγκόσμιων αποθεμάτων φυσικού αερίου προς την παγκόσμια παραγωγή του να ξεπεράσει το 2% είναι μόλις 2%, ενώ στο σενάριο αναφοράς είναι 25%. Ο μέσος λόγος R/P του φυσικού αερίου το 2030 είναι 64 χρόνια, αυξημένος κατά 28% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς και το 2050 είναι 51 χρόνια, αυξημένος κατά 50% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Η πιθανότητα ο λόγος R/P του φυσικού αερίου να ξεπεράσει αυτόν του σεναρίου αναφοράς είναι 100% όλο το διάστημα 2010-2050. Ο μεγαλύτερος λόγος R/P του φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς οφείλεται στην προσθήκη των αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, αφού ουσιαστικά αυξάνεται ο αριθμητής του πηλίκου με αποτέλεσμα να αυξάνεται και ο ίδιος ο λόγος R/P (αυξάνεται και η παραγωγή αλλά λιγότερο από τα αποθέματα). Επομένως, η εκμετάλλευση των παγκόσμιων αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου οδηγεί σε μεγαλύτερους λόγους R/P φυσικού αερίου και επομένως σε περισσότερα χρόνια χρήσης του φυσικού αερίου σε όλους τους ενεργειακούς τομείς (βιομηχανικό, οικιακό, εμπορικό) (με ίδιους ρυθμούς παραγωγής).
- Η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου σημειώνει μέση ετήσια αύξηση 2,2% την περίοδο 2010-2050 (η μέση ετήσια αύξηση στο σενάριο αναφοράς είναι 1,6%). Η πιθανότητα η ετήσια αύξηση να ξεπεράσει το 2% είναι 62% στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου ενώ στο σενάριο αναφοράς είναι 24%. Το 2010 η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου ανέρχεται σε 2.879 Mtoe, το 2030 η μέση πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου αυξάνεται σε 4.734 Mtoe και το 2050 φτάνει το μεγαλύτερο επίπεδο της, τα 6.850 Mtoe. Το διάστημα 2025-2050, η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου να είναι μεγαλύτερη από το σενάριο αναφοράς είναι 100%. Επομένως, η εκμετάλλευση των παγκόσμιων αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου οδηγεί σε μεγαλύτερη πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου. Αυτή η αύξηση της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου οφείλεται κυριώς στην μειωμένη παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο αυτό σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Επίσης η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση

φυσικού αερίου να ξεπεράσει την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα το 2030 είναι 79% στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου ενώ στο σενάριο αναφοράς είναι 51%. Η πιθανότητα η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου να ξεπεράσει την πρωτογενή ζήτηση άνθρακα το 2050 είναι 100% στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου ενώ στο σενάριο αναφοράς είναι 85%. Επομένως η ανάπτυξη των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου οδηγεί σε μια στροφή προς την υποκατάσταση του άνθρακα με φυσικό αέριο (κυρίως στην ηλεκτροπαραγωγή). Η εκμετάλλευση των μη συμβατικών πόρων φυσικού αερίου δεν επηρεάζει σημαντικά την πρωτογενή ζήτηση πετρελαίου καθώς το πετρέλαιο χρησιμοποιείται κυρίως στον τομέα των μεταφορών και δεν ανταγωνίζεται πολύ τα άλλα καύσιμα στους άλλους τομείς ενέργειας (π.χ. ηλεκτροπαραγωγή).

- Το μερίδιο του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου αυξάνεται σε όλο τον ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου. Το μερίδιο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή ανέρχεται σε 21,3% το 2008 και υπολείπεται του μεριδίου του άνθρακα που κατέχει μερίδιο 41,1% στην ηλεκτροπαραγωγή. Ακολουθούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική, βιομάζα) με μερίδιο 18,9%. Το 2030, το μέσο μερίδιο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή φτάνει το 31,8%, (28,4% στο σενάριο αναφοράς) και το 2050 αυξάνεται περαιτέρω και φτάνει το 38,7% (30,3% στο σενάριο αναφοράς). Πτωτική πορεία ακολουθεί το μερίδιο του άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή σε όλο τον ορίζοντα πρόβλεψης του μοντέλου. Το 2030 το μέσο μερίδιο άνθρακα είναι 31,5% (33,3% στο σενάριο αναφοράς) και το 2050 μειώνεται ακόμα περισσότερο και φτάνει το 23,3% (25,5% στο σενάριο αναφοράς). Αντίθετα, το μέσο μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενεργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται από 27,6% το 2030 (28,7% στο σενάριο αναφοράς) σε 28,1% (31,9% στο σενάριο αναφοράς). Η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή να ξεπεράσει το μερίδιο του άνθρακα το 2030 είναι 41% στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου, ενώ στο σενάριο αναφοράς η πιθανότητα αυτή είναι 28%. Το 2050, η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή να ξεπεράσει το μερίδιο του άνθρακα είναι 96% ενώ στο σενάριο αναφοράς η πιθανότητα είναι 64%. Επιπλέον, η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή να ξεπεράσει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το 2030 είναι 71% ενώ στο σενάριο αναφοράς είναι 56%. Το 2050, η πιθανότητα το μερίδιο του φυσικού αερίου να ξεπεράσει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι 78% ενώ στο σενάριο αναφοράς 43%. Παρατηρείται επομένως ότι η εκμετάλλευση των παγκόσμιων αποθεμάτων μη συμβατικού αερίου οδηγεί σε μια στροφή προς την υποκατάσταση του

άνθρακα από φυσικό αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή ενώ επίσης μειώνει την διείσδυση των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η κύρια αιτία αυτής της αύξησης της ζήτησης του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι η μειωμένη παγκόσμια τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο αυτό σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

- Οι παγκόσμιες εκπομπές CO₂ αυξάνονται το διάστημα 2010-2050 με μέσο ετήσιο ρυθμό 0,9% (ο μέσος ετήσιος ρυθμός είναι ίδιος και στο σενάριο αναφοράς). Οι εκπομπές CO₂ το 2010 ανέρχονται σε 31,1 Gtn, αυξάνονται σε 39,6 Gtn το 2030 ενώ το 2050 φτάνουν το μεγαλύτερο επίπεδο, τους 45,8 Gtn. Ο κύριος λόγος αύξησης των εκπομπών CO₂ είναι οι αυξανόμενες παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες εξαιτίας της οικονομικής ανάπτυξης και της αύξησης του πληθυσμού. Επίσης, η βελτίωση των συνθηκών ζωής στις αναπτυσσόμενες χώρες (Ινδία, Αφρική, Κίνα) οδηγεί σε μεγαλύτερες καταναλώσεις καυσίμων (ιδιαίτερα πετρελαίου καθώς αυξάνεται ο αριθμός αυτοκινήτων και άνθρακα και φυσικού αερίου στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας). Οι μέσες εκπομπές CO₂ στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι αυξημένες σε σχέση με το σενάριο αναφοράς το διάστημα 2020-2050. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι ενώ βραχυπρόθεσμα η αύξηση της ζήτησης φυσικού αερίου οδηγεί σε μείωση των εκπομπών CO₂ καθώς υποκαθιστά πιο ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα (άνθρακα, πετρέλαιο) σε όλους τους ενεργειακούς τομείς, μακροπρόθεσμα όμως η αυξανόμενη ζήτηση φυσικού αερίου (κυρίως στην ηλεκτροπαραγωγή) μειώνει την διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική, βιομάζα). Έτσι, οι παγκόσμιες εκπομπές CO₂ στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου είναι μικρότερες μέχρι το 2020 (πιθανότητα 100%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Ωστόσο, η πιθανότητα μείωσης των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ στο σενάριο εκμετάλλευσης των παγκόσμιων πόρων μη συμβατικού αερίου σε σχέση με το σενάριο αναφοράς μικραίνει από το 2020 (υποκατάσταση ΑΠΕ και πυρηνικής ενέργειας από φυσικό αέριο) και το 2030 είναι 48% ενώ το 2050 είναι μόλις 4%. Δηλαδή, μακροπρόθεσμα η παραγωγή μη συμβατικού αερίου αυξάνει τις παγκόσμιες εκπομπές CO₂.

Επίσης, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας μελετήσαμε την επίδραση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ενεργειακή αγορά φυσικού αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της πολιτικής της ΕΕ για ενίσχυση της ενεργειακής της ασφάλειας με στόχο την απεξάρτηση από το εισαγόμενο φυσικό αέριο και την δημιουργία νέων πηγών προμήθειας φυσικού αερίου.

Κατασκευάσαμε ένα ντετερμινιστικό μοντέλο στο οποίο εφαρμόσαμε δύο σενάρια παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση (σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία και σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ).

Παρακάτω συνοψίζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου για την επίδραση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ενεργειακή αγορά φυσικού αερίου της ΕΕ στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία.

- Η παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση ακολουθεί πτωτική πορεία το διάστημα 2010-2050 με μέσο ετήσιο ρυθμό 4%. Το 2010 ανέρχεται σε 201 bcm, το 2030 μειώνεται σε 89 bcm και το 2050 φτάνει στο χαμηλότερο επίπεδο της, τα 40 bcm. Το μερίδιο της στην κάλυψη της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης μειώνεται σημαντικά από 38% το 2010, σε 18% το 2030 και καταλήγει σε μόλις 9% το 2050. Η πτώση στην παραγωγή συμβατικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση στο διάστημα 2010-2050 οφείλεται κυρίως στην εξάντληση των διαθέσιμων αποθεμάτων της σε φυσικό αέριο και στην μείωση της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου εξαιτίας της κλιματικής πολιτικής της ΕΕ για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και περιορισμό των εκπομπών CO₂.
- Η παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στη Νορβηγία σημειώνει πτώση το διάστημα 2010-2050 με μέσο ετήσιο ρυθμό 0,9%. Το 2010 ανέρχεται σε 110 bcm, το 2030 μειώνεται σε 98 bcm και το 2050 φτάνει στο χαμηλότερο επίπεδο της, τα 76 bcm. Η πτώση στην παραγωγή συμβατικού αερίου στη Νορβηγία οφείλεται κυρίως στην μείωση της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης το διάστημα 2010-2050 και στην εξάντληση των αποθεμάτων φυσικού αερίου της Βόρειας Θάλασσας. Ωστόσο, η παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στη Νορβηγία συνεχίζει να καλύπτει σημαντικό τμήμα της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου της ΕΕ με ποσοστό να διατηρείται στο επίπεδο του 20% το διάστημα 2010-2050.

- Η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση περιορίζεται στην Πολωνία καθώς οι μεσοπρόθεσμες προοπτικές για την παραγωγή του εμφανίζονται πιο ευνοϊκές στη χώρα αυτή, όπου οι διερευνητικές δραστηριότητες για σχιστολιθικό αέριο είναι πιο προηγμένες και γενικότερα κοινωνικοί, περιβαλλοντικοί και εμπορικοί παράγοντες στην ανάπτυξή του δεν συνιστούν εμπόδιο όπως στις άλλες χώρες της ΕΕ. Η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου ξεκινά το 2015 με μόλις 1 bcm, αυξάνεται σε 9,6 bcm το 2030 και φτάνει τα 12,5 bcm το 2050. Το μερίδιο της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία στην κάλυψη της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου της ΕΕ διατηρείται σε επίπεδα 1-3% σε όλο το διάστημα 2010-2050. Το μερίδιο στη συνολική παραγωγή φυσικού αερίου στην ΕΕ αυξάνεται από 2% το 2020 σε 10% το 2050 χωρίς όμως να καταφέρνει να αντισταθμίσει την μείωση της παραγωγής συμβατικού φυσικού αερίου στην ΕΕ.
- Η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση μειώνεται το διάστημα 2010-2050 με μέσο ετήσιο ρυθμό 0,4%. Το 2010 ανέρχεται σε 524 bcm, το 2030 μειώνεται σε 485 bcm και συνεχίζεται η πτώση μέχρι το 2050 που φτάνει τα 450 bcm. Η πτώση στη ζήτηση φυσικού αερίου στην ΕΕ οφείλεται κυρίως στην κλιματική πολιτική της ΕΕ καθώς έχει θέσει στόχους σχετικά με το κλίμα και την ενέργεια που περιλαμβάνουν μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και περαιτέρω ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Οι εισαγωγές φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση σημειώνουν άνοδο το διάστημα 2010-2050 με μέσο ετήσιο ρυθμό 1%. Το 2010 ανέρχονται σε 213 bcm, αυξάνονται σε 287 bcm το 2030 και συνεχίζουν την ανοδική πορεία φτάνοντας τα 321 bcm το 2050. Οι εισαγωγές φυσικού αερίου στην ΕΕ προέρχονται κυρίως από την Ρωσία, τη Νορβηγία και την Αλγερία. Ο βαθμός εξάρτησης της ΕΕ σε εισαγόμενο φυσικό αέριο αυξάνεται σημαντικά, από 41% το 2010 σε 59% το 2030 φτάνοντας το μεγαλύτερο ποσοστό το 2050 με 71%. Η ΕΕ παρά την εκμετάλλευση του σχιστολιθικού αερίου της Πολωνίας δεν καταφέρνει να ενισχύσει την ενεργειακή της ασφάλεια με την απεξάρτηση από τις εισαγωγές καθώς συνεχίζει να εισάγει μεγάλες ποσότητες φυσικού αερίου από άλλες χώρες για την κάλυψη της πρωτογενούς ζήτησης της σε φυσικό αέριο.
- Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή χρήση στην Ευρώπη σημειώνει άνοδο το διάστημα 2010-2050 με μέσο ετήσιο ρυθμό 1%. Το 2010 ανέρχεται σε 0,16 \$/KWh. Το 2030 η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη ανέρχεται σε 0,22 \$/KWh, αυξημένη κατά 38% σε σχέση με την αντίστοιχη το 2010 ενώ το 2050 ανέρχεται σε 0,24 \$/KWh, αυξημένη κατά 50% σε σχέση με την αντίστοιχη το 2010.

- Η τιμή φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση αυξάνεται το διάστημα 2010-2050 κατά 70% φτάνοντας τα 12,30 \$/Mbtu το 2050 από 7,25 \$/Mbtu το 2010. Ο κύριος λόγος αύξησης της τιμής φυσικού αερίου στην ΕΕ είναι η αύξηση του βαθμού εξάρτησης της σε εισαγωγές φυσικού αερίου από άλλες χώρες. Επομένως η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου αποκλειστικά από την Πολωνία σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση δεν επηρεάζει σημαντικά την τιμή φυσικού αερίου στην Ευρώπη καθώς ο βαθμός εξάρτησης της αυξάνεται σημαντικά το διάστημα 2010-2050.

Παρακάτω συνοψίζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου για την επίδραση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ενεργειακή αγορά φυσικού αερίου της ΕΕ στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ.

- Η παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση ακολουθεί την ίδια πρωτική πορεία με το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία το διάστημα 2010-2050 με μέσο ετήσιο ρυθμό 4%. Το 2010 ανέρχεται σε 201 bcm, μειώνεται σε 89 bcm το 2030 και φτάνει στο χαμηλότερο επίπεδο της το 2050 με 40 bcm. Το μερίδιο της στην κάλυψη της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου της ΕΕ από 38% το 2010, μειώνεται σε 18% το 2030 και φτάνει το 8% το 2050. Η πτώση στην παραγωγή συμβατικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση στο διάστημα 2010-2050 οφείλεται κυρίως στην εξάντληση των διαθέσιμων αποθεμάτων της σε φυσικό αέριο και στην μείωση της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου εξαιτίας της κλιματικής πολιτικής της ΕΕ για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και περιορισμό των εκπομπών CO₂. Η σωρευτική παραγωγή συμβατικού αερίου στην ΕΕ το διάστημα 2010-2050 είναι 3.982 bcm, 6 bcm χαμηλότερη σε σχέση με το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου μόνο στην Πολωνία.
- Η παραγωγή συμβατικού φυσικού αερίου στη Νορβηγία μειώνεται το διάστημα 2010-2050 με διπλάσιο ρυθμό σε σχέση με το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία. Το 2010 ανέρχεται σε 110 bcm, μειώνεται σε 80 bcm το 2030 και συνεχίζεται η πτώση μέχρι το 2050 που φτάνει τα 54 bcm. Η σωρευτική παραγωγή συμβατικού αερίου στη Νορβηγία το διάστημα 2010-2050 είναι 3.368 bcm, μικρότερη κατά 16% σε σχέση με το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην μεγαλύτερη παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στο σενάριο αυτό που καλύπτει μεγαλύτερο τμήμα της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου στην ΕΕ. Έτσι, οι ανάγκες της ΕΕ για εισαγωγές φυσικού αερίου είναι μικρότερες και επομένως η Νορβηγία παράγει μικρότερη ποσότητα αερίου.

- Η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου ξεκινά στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2015 αφού ξεπερνιούνται κοινωνικά, τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά εμπόδια που συνδέονται με την αποδοχή αυτής της νέας πηγής ενέργειας. Η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρώπη αυξάνεται το διάστημα 2010-2050, από 4 bcm το 2015, σε 116 bcm το 2030 και φτάνει τα 196 bcm το 2050. Η αύξηση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ δεν την καταστά αυτάρκη σε φυσικό αέριο αλλά αντισταθμίζει την μείωση της παραγωγής συμβατικού αερίου στην ΕΕ από το 2030 και μετά. Η σωρευτική παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ το διάστημα 2010-2050 είναι 4.406 bcm. Η ποσότητα αυτή είναι κατά 11% μεγαλύτερη από την σωρευτική παραγωγή συμβατικού αερίου της ΕΕ και 31% μεγαλύτερη από την σωρευτική παραγωγή της Νορβηγίας το ίδιο χρονικό διάστημα. Το μερίδιο της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ στη συνολική παραγωγή αερίου στην ΕΕ αυξάνεται από 12,2% το 2020 σε 67,5% το 2050 ενώ το μερίδιο στην κάλυψη της πρωτογενούς ζήτησης φυσικού αερίου στην ΕΕ από μόλις 6% το 2020 φτάνει το 40% το 2050.
- Η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση ακολουθεί μικρή πτωτική τάση το διάστημα 2010-2050 με μέσο ετήσιο ρυθμό 0,1%. Ο ρυθμός μείωσης αυτός είναι ίσος με το 25% του αντίστοιχου στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία. Η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου στην ΕΕ ανέρχεται σε 496 bcm το 2030, αυξημένη κατά 2,3% σε σχέση με το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία ενώ το 2050 είναι πάλι 496 bcm, αυξημένη κατά 10% σε σχέση με το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία. Οι διαφορές αυτές στην πρωτογενή ζήτηση φυσικού αερίου ανάμεσα στα δύο σενάρια οφείλονται στην μειωμένη τιμή φυσικού αερίου στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ (λόγω της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου) με αποτέλεσμα η πρωτογενής ζήτηση φυσικού αερίου (κυρίως για ηλεκτροπαραγωγή) στο σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ να διατηρείται σε σταθερά επίπεδα από το 2020 και μετά.
- Οι εισαγωγές φυσικού αερίου συνεχίζουν να αυξάνονται το διάστημα 2010-2020 καθώς δεν έχει ξεκινήσει σημαντική παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση ενώ το διάστημα 2020-2050 σημειώνουν σημαντική πτώση φτάνοντας τα χαμηλότερα επίπεδα το 2040. Το 2030 οι εισαγωγές φυσικού αερίου στην Ευρώπη ανέρχονται σε 209 bcm, μειωμένες κατά 27% σε σχέση με το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία και το 2050 ανέρχονται σε 205 bcm, μειωμένες κατά 36% σε σχέση με το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία. Η εξάρτηση της ΕΕ σε εισαγόμενο φυσικό αέριο από άλλες χώρες διατηρείται σταθερή στο 42% το διάστημα 2010-2050. Επομένως, η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην ΕΕ ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια της με την μείωση των εισαγωγών της σε

φυσικό αέριο και την διατήρηση του βαθμού εξάρτησης της σε σταθερά επίπεδα. Το αποτέλεσμα αυτό συμβαδίζει με την πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση των εισαγωγών της σε φυσικό αέριο και την ενίσχυση του ενεργειακού της εφοδιασμού από νέες πηγές ενέργειας.

- Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή χρήση στην Ευρώπη αυξάνεται κατά 47% από το διάστημα 2010-2050, με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 1%. Το 2030 η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη είναι κατά 0,6% μειωμένη σε σχέση με το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία, και το 2050 είναι μειωμένη κατά 1,35%. Παρατηρούμε ότι η παραγωγή σημαντικής ποσότητας σχιστολιθικού στην Ευρώπη, επηρεάζει λίγο την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή χρήση στην Ευρώπη, καθώς αυτή επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες εκτός από την τιμή φυσικού αερίου.
- Η παραγωγή σχιστολιθικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση συγκρατεί επίσης την τιμή φυσικού αερίου από τα υψηλά επίπεδα του σεναρίου αναφοράς. Η τιμή φυσικού αερίου στην ΕΕ είναι 11,99 \$/Mbtu το 2030, μειωμένη κατά 7% σε σχέση με το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία ενώ το 2050 μειώνεται σε 10,96 \$/Mbtu, μειωμένη κατά 11% σε σχέση με το σενάριο παραγωγής σχιστολιθικού αερίου στην Πολωνία. Η μείωση της τιμής φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση λόγω της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου (μείωση ενεργειακού κόστους) είναι σημαντική καθώς θα ενισχύσει την βιομηχανική και οικονομική ανταγωνιστικότητά της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1]. Holditch, S.A. 2006. Tight Gas Sands, SPE Paper 103356, Distinguished Author Series.
- [2]. <http://www.dmp.wa.gov.au/15136.aspx>
- [3]. Downey, K., “Fueling North America’s energy future: The unconventional natural gas revolution and the carbon agenda”. Executive summary . 2010, IHS CERA: Cambridge, MA.
- [4]. US DOE. 2009. *Modern Shale Gas Development in the United States: A Primer*.
- [5]. Navigant Consulting. 2008. *North American Natural Gas Supply Assessment*. Prepared for American Clean Skies Foundation.
- [6]. Holditch, S.A., Unconventional gas topic paper #29. 2007, National Petroleum Council: Washington, DC.
- [7]. Rogner, H. 1997. *An Assessment of World Hydrocarbon Resources*. Institute for Integrated Energy System, University Of Victoria.
- [8]. S.H. Mohr and G.M. Evans, 'Shale gas changes N. American gas production projections', *Oil and Gas Journal* 108, no 27
- [9]. (2010).Ejaz, Q., Supplementary paper SP2.2: Background material on natural gas resource assessments, with major resource country reviews . 2010, MIT: Cambridge, MT.
- [10]. Kuuskraa, V.A., Worldwide gas shales and unconventional gas: a status report . 2009, Advanced Resources International Inc.: Arlington, VA.
- [11]. “World Energy Outlook 2009”, in *World Energy Outlook* (Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development, 2009).
- [12]. C. Besson, 'Resources to reserves: oil & gas technologies for the energy markets of the future', (Paris: International Energy Agency, 2005).
- [13]. Kümpel, H.-J., Energy resources 2009: Reserves, Resources, Availability . 2009, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Federal Institute for Geosciences and Natural Resources: Hannover, Germany.
- [14]. WEC, 'Survey of Energy Resources: Focus on Shale Gas', (London, UK: World Energy Council, 2010).
- [15]. Advanced Resources International, World shale gas resources: an initial assessment of 14 regions outside the United States. 2011, Advanced Resources International Inc: Washington, DC.

- [16]. Medlock, K.B., III , A.M. Jaffe, and P.R. Hartley, Shale gas and U.S. national security. 2011, Rice University Houston, TX.
- [17]. Aluko, N. (2001). Coalbed methane extraction and utilisation, Technology status report 016 August 2001, Department of Trade and Industry, UK.
- [18]. “World Energy Outlook”, International Energy Agency (IEA), 2012
- [19]. Kawata Y and Fujita K: “Some Predictions of Possible Unconventional Hydrocarbon Availability Until 2100,” SPE 68755 presented at the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference, Jakarta, Indonesia, (April 17–19, 2001).
- [20]. Accenture, “*Water and Shale Gas Development - Leveraging the US Experience in New Shale Developments*” (2012).
- [21]. “Golden Rules for a Golden Age of Gas,” International Energy Agency (IEA), June 2012.
- [22]. Howarth, R., R. Santoro and A. Ingraffea (2011), “Methane and the Greenhouse Gas Footprint of Natural Gas from Shale Formations”, *Climatic Change*, Vol. 106, No. 4, Springer, pp. 679-690.
- [23]. International Energy Agency, World energy outlook . 2008 ed. 2008, Paris: OECD/IEA.
- [24]. International Energy Agency, Are we entering a golden age of gas? , R. Priddle, Editor. 2011, International Energy Agency: Paris, France.
- [25]. Gény, Florence (2010), *Can Unconventional Gas be a Game Changer in European Gas Markets?*, Oxford Institute for Energy Studies, Oxford, 1 December.
- [26]. The E3MLab Models, Prof. P. Capros, E3MLab, January 2011
- [27]. GEA, 2012: *Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- [28]. BGR, Reserves, resources and availability of energy resources: 2010. 2010, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Federal Institute for Geosciences and Natural Resources: Hannover, Germany.
- [29]. Masters, J.A., 1979, Deep Basin Gas Trap, Western Canada: AAPG Bulletin, v. 63, No. 2, p. 152-181.
- [30]. Flores, C.P., 2008, Technology and Economics Affecting Unconventional Reservoir Development: Texas A&M Univ. M.S. Thesis.

- [31]. Steven Holdich, “How Technology Transfer Will Expand the Development of Unconventional Gas Worldwide,” Lezig, Netherlands, 2009.
- [32]. EIA. 2012. *Annual Energy Outlook 2012 Early Release Overview*.
- [33]. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Energy_production_and_imports#Imports
- [34]. Wood Mackenzie, Global unconventional gas trends 2009, Wood Mackenzie.
- [35]. IHS CERA, Gas from Shale: Potential Outside North America? 2009, IHS CERA: Cambridge, MA.
- [36]. Joint Research Centre of the European Commission (JRC) (2012), *Unconventional Gas: Potential Energy Market Impacts in the European Union*
- [37]. Michael Ratner et al. “Europe’s Energy Security: Options and challenges to Natural Gas Supply Diversification, March 15, 2013
- [38]. Quentin Philippe, Karel Cool, “Europe’s shale gas competitiveness challenge and consequences for the petrochemical sector” (2013)
- [39]. Credit Suisse, “The Shale Revolution”, 2012
- [40]. European Commission, Energy Roadmap 2050. COM (2011)
- [41]. Herve Wilczynski, Muqsit Ashraf, and Mohammed Saadat, “Shale Gas: a Risk Worth Taking”

