



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική εργασία

***Διερεύνηση θεμάτων ενεργειακής ασφάλειας
φυσικού αερίου στην Ευρώπη***



Αλεξόπουλος Χριστόφορος & Φώτης Αθανάσιος

Επιβλέπων: Μπαλλής Αθανάσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενέργεια είναι αναπόσπαστο κομμάτι κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας που αντανακλά την οικονομική και κοινωνική ευημερία κάθε χώρας. Ως εκ τούτου, η διερεύνηση της ενεργειακής ασφάλειας αποτελεί αντικείμενο συστηματικής έρευνας. Το φυσικό αέριο διαδραματίζει έναν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή σκακιέρα της Ευρώπης, καθώς είναι μια πηγή ενέργειας που κερδίζει έδαφος έναντι των άλλων ανταγωνιστικών καυσίμων. Αξιοσημείωτη είναι η εξάρτηση της Ευρώπης σε φυσικό αέριο καθώς εισάγει το 70% των ποσοτήτων που καταναλώνει, ενώ το 40% εξ αυτών προέρχεται από τη Ρωσία. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση θεμάτων ενεργειακής ασφάλειας φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Καταγράφηκαν οι υφιστάμενες υποδομές του δικτύου αγωγών και λιμενικών τερματικών σταθμών LNG και στη συνέχεια διατυπώθηκαν σενάρια ζήτησης και μελλοντικών υποδομών με γνώμονα τη διείσδυση του φυσικού αερίου στον οικιακό τομέα και στον τομέα των μεταφορών. Η μοντελοποίηση του δικτύου και η επίλυση των σεναρίων πραγματοποιείται με χρήση γραμμικού προγραμματισμού (μέθοδο ροής ελάχιστου κόστους) σε προγραμματιστικό περιβάλλον AMPL. Το βασικό συμπέρασμα των παραπάνω διερευνήσεων είναι ότι η διείσδυση του LNG στο ενεργειακό τοπίο και η αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών τροφοδοσίας (κυρίως από Κασπία, Ιράν και Λιβύη) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον περιορισμό της εξάρτησης της Ευρώπης από το φυσικό αέριο της Ρωσίας.

Λέξεις κλειδιά: φυσικό αέριο, ενεργειακή ασφάλεια, LNG, μέθοδος ελάχιστου κόστους, AMPL, πρόβλεψη ζήτησης

ABSTRACT

Energy is an integral part of any human activity that reflects the economic and social well-being of every country. Therefore, the investigation of energy security is a significant subject for research. Natural gas plays a particularly important role in Europe's energy chessboard as it is a source of energy that is increasingly gaining ground over other competitive fuels. Europe's dependence on gas is remarkable, as it imports 70% of the quantities consumed, while 40% of it comes exclusively from Russia. The subject of this diploma thesis is the investigation of natural gas energy security issues in Europe. The current state of Europe's natural gas supply through the existing pipeline network and LNG terminals have been studied. Subsequently, demand and infrastructure scenarios were developed and analyzed with a view to the penetration of natural gas in the domestic and transport sectors. Network modeling and scenarios solving are analysed on the basis of linear programming and node equilibrium using the minimum cost flow method in the AMPL programming environment. The conclusions of the aforementioned investigation are that the LNG invasion in the energy landscape and the utilization of alternative sources (mainly from Caspian Sea, Iran and Libya) plays an important role in the deregulation of Europe from Russia's natural gas.

Keywords: natural gas, energy security, LNG, minimum cost flow, AMPL, forecast demand

Ευχαριστίες

Με την εκπλήρωση των σπουδών μας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους ανθρώπους που μας στήριξαν και συνέβαλαν ουσιαστικά στην προσπάθεια μας να φέρουμε εις πέρας την παρούσα εργασία.

Κατ' αρχήν, νιώθουμε την ανάγκη να εκφράσουμε την αμέριστη ευγνωμοσύνη μας στον επιβλέποντα της παρούσας εργασίας κ. Μπαλλή Αθανάσιο, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Θέλουμε να τον ευχαριστήσουμε θερμά για την πρόθυμη και πολύτιμη βοήθεια που μας παρείχε, την ηθική υποστήριξη και την επιστημονική καθοδήγησή του, καθώς επίσης και για την απaráμιλλη διάθεση που επέδειξε και τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για τη διεκπεραίωση αυτής της εργασίας. Πρόκειται για ένα ξεχωριστό άνθρωπο και επιστήμονα που θα αποτελέσει πρότυπο στη μετέπειτα ζωή μας.

Επίσης, θέλουμε να ευχαριστήσουμε θερμά την κ. Μοσχόβου Τατιάνα, Ε.ΔΙ.Π. και την κ. Σφακιανάκη Εύη, Ε.Τ.Ε.Π. οι οποίες ήταν πάντα πρόθυμες να μας καθοδηγήσουν και να μας προσφέρουν την πολύτιμη βοήθειά τους και το χρόνο τους.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στις οικογένειές μας και τους φίλους μας , που είναι πάντα δίπλα μας και μας στηρίζουν σε κάθε μας προσπάθεια.

Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	15
1.1	Η ενέργεια στο σύγχρονο κόσμο	15
1.2	Βασικές έννοιες της ενέργειας.....	17
1.3	Η έννοια της ενέργειας στις μεταφορές	22
1.4	Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας	23
1.5	Δομή της Διπλωματικής Εργασίας	23
2	Βιβλιογραφική Επισκόπηση	25
2.1	Μοντέλα πρόβλεψης ζήτησης	25
2.2	Ισορροπία μεταξύ ζήτησης και προσφοράς	28
2.3	Ενεργειακή ασφάλεια	30
3	Βασικές Πηγές Ενέργειας.....	36
3.1	Άνθρακας.....	36
3.2	Πετρέλαιο	44
3.3	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	60
3.4	Φυσικό Αέριο	60
3.4.1	Κοιτάσματα	61
3.4.2	Αποθέματα.....	61
3.4.3	Αποθήκευση.....	64
3.4.4	Εξόρυξη και Μεταφορά	72
3.4.5	Σχιστολιθικό Φυσικό Αέριο	72
3.4.6	Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)	76
4	Διερεύνηση θεμάτων ενεργειακής ασφάλειας φυσικού αερίου στην Ευρώπη μέσω μοντελοποίησης του δικτύου αγωγών	84
4.1	Ζήτηση.....	84
4.2	Περιγραφή Δικτύου	92
4.2.1	Αγωγοί Φυσικού Αερίου από τη Ρωσία	94
4.2.2	Αγωγοί Φυσικού Αερίου από τη Βόρεια Θάλασσα.....	103
4.2.3	Αγωγοί Φυσικού Αερίου από την Αφρική	106

4.2.4	Αγωγοί Φυσικού Αερίου από τη Μέση Ανατολή	111
4.3	Υπολογιστικά Εργαλεία	119
4.4	Διαμόρφωση Μοντέλου	120
4.5	Ανάπτυξη Σεναρίων Ενεργειακής Ασφάλειας Φυσικού Αερίου	132
4.5.1	Σενάριο 0: Υφιστάμενη Κατάσταση	132
4.5.2	Σενάριο 1: Ολοκλήρωση δικτύου αγωγών Καταναλωτών και Βιομηχανιών	138
4.5.3	Σενάριο 2: Αύξηση της ζήτησης λόγω CNG επιβατικών οχημάτων	147
4.5.4	Σενάριο 3: Αύξηση της ζήτησης λόγω CNG επιβατικών οχημάτων και ολοκλήρωσης μελλοντικών έργων κατασκευής αγωγών φυσικού αερίου και σταθμών LNG	158
4.6	Παρουσίαση και Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Σεναρίων	162
4.6.1	Σενάριο 0	162
4.6.2	Σενάριο 1	165
4.6.3	Σενάριο 2	168
5	Συμπεράσματα	171
6	Εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα	174
7	Βιβλιογραφία	175

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Κατανομή παγκόσμιας κατανάλωσης ανά καύσιμο το 2015.	15
Σχήμα 2: Κατανάλωση ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (EU28) 1990-2015.	16
Σχήμα 3: Συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης EU28 το 2015.	17
Σχήμα 4: Η αγορά του άνθρακα στην Ευρώπη.	41
Σχήμα 5: Βασικοί όροι συμβολαίων άνθρακα. ²⁵	43
Σχήμα 6: Οι ιζηματογενείς λεκάνες της Γης με τις πιο σημαντικές παραγωγικές περιοχές. ²⁷	46
Σχήμα 7: Κατανομή αποδεδειγμένων αποθεμάτων ανά ήπειρο.	47
Σχήμα 8: Αποδεδειγμένα κοιτάσματα πετρελαίου ανά χώρα.	49
Σχήμα 9 Θαλάσσια εξέδρα εξόρυξης πετρελαίου.	50
Σχήμα 10: Σχηματική απεικόνιση τιμής και μεθόδου άντλησης πετρελαίου. ²⁷	53
Σχήμα 11: Προϊόντα πετρελαίου από την κλασματική απόσταξη.	55
Σχήμα 12 Χρονική εξέλιξη τιμών πετρελαίου.	57
Σχήμα 13: Χρονική εξέλιξη λόγων [αποδεδειγμένα αποθέματα/παραγωγή] πετρελαίου.	59
Σχήμα 14: Αποδεδειγμένα κοιτάσματα ανά χώρα.	63
Σχήμα 15: Αποδεδειγμένα κοιτάσματα ανά χώρα.	64
Σχήμα 16: Μέσες ημερήσιες παραδόσεις αερίου συναρτήσει της θερμοκρασίας 10 m (κλίση) = αύξηση στις παραδόσεις ανά βαθμό μείωσης θερμοκρασίας. ²⁷	66
Σχήμα 17: Ημερήσια καμπύλη φορτίων που παρουσιάζει το αέριο που παραδόθηκε από την αποθήκευση και το αέριο που προστέθηκε στην αποθήκευση. ²⁷	67
Σχήμα 18: Καταλληλότητα των διάφορων συστημάτων αποθήκευσης για διαφορετικές ανάγκες αιχμής. ²⁷	68
Σχήμα 19: Απαιτούμενη αποθηκευτική δυναμικότητα για κάλυψη εποχικών αναγκών αιχμής συναρτήσει του σχήματος τροφοδοσίας.	69
Σχήμα 20: Υπόγειες εγκαταστάσεις αποθήκευσης φυσικού αερίου.	70
Σχήμα 21: Βήματα εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου.	73
Σχήμα 22: Είδη φυσικού αερίου στις Η.Π.Α. 1990-2040.	74
Σχήμα 23 :Σχηματική απλοποιημένη διατομή μιας απλής δεξαμενής αποθήκευσης LNG.	78

Σχήμα 24: Σφαιρική δεξαμενή πλοίου.	79
Σχήμα 25 Δεξαμενή πλοίου με μεμβράνη.	80
Σχήμα 26: Διάγραμμα εγκατάστασης παραλαβής LNG.....	81
Σχήμα 27: Κόστος μεταφοράς LNG και κόστος μεταφοράς με αγωγούς συναρτήσει της απόστασης μεταφοράς.	83
Σχήμα 28: Παγκόσμιος χάρτης κατανάλωσης Φυσικού Αερίου.....	85
Σχήμα 29: Η ζήτηση Φυσικού Αερίου σύμφωνα με το New Policies Σενάριο για το έτος 2035.	86
Σχήμα 30: Η παγκόσμια ζήτηση Φυσικού Αερίου ανά τομέα σύμφωνα με το New Policies Σενάριο. ⁴⁰	87
Σχήμα 31: Παγκόσμιος χάρτης παραγωγής Φυσικού Αερίου.³⁹	89
Σχήμα 32: Ισοζύγιο Φυσικού Αερίου στην Ευρώπη σύμφωνα με το New Policies Σενάριο. ⁴⁰	90
Σχήμα 33: Τα ποσοστά εμπορευόμενου Φυσικού Αερίου ανάλογα με το μηχανισμό διαμόρφωσης τιμής.	91
Σχήμα 34: Το Ευρωπαϊκό δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου.	92
Σχήμα 35: Απλοποιημένος Χάρτης βασικών ροών φυσικού αερίου στην Ευρώπη με αγωγούς.	93
Σχήμα 36: Η τμηματοποίηση της Ευρωπαϊκής αγοράς αερίου.	94
Σχήμα 37: Σχηματική απεικόνιση της εξάρτησης εισαγωγής φυσικού αερίου από τη Ρωσία.	95
Σχήμα 38: Τα σημεία εισόδου και εξόδου του ρώσικου αερίου μέσω της Ουκρανίας.	96
Σχήμα 39: Κύριοι αγωγοί τροφοδοσίας Ευρώπης με προέλευση τη Ρωσία.	97
Σχήμα 40: Ο αγωγός φυσικού αερίου Nord Stream.	98
Σχήμα 41: Ο αγωγός φυσικού αερίου Yamal-Europe.....	99
Σχήμα 42: Ο αγωγός φυσικού αερίου Northern Lights.	100
Σχήμα 43: Ο αγωγός φυσικού αερίου Blue Stream.	102
Σχήμα 44: Οι αγωγοί Turkish Stream και South Stream (που ακυρώθηκε).	103
Σχήμα 45: Τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας.	104
Σχήμα 46: Το σύστημα αγωγών φυσικού αερίου από τη Βόρεια θάλασσα.	105
Σχήμα 47 :Βασικές διαδρομές αγωγών φυσικού αερίου από την Β. Αφρική.	106
Σχήμα 48: Ο αγωγός φυσικού αερίου GreenStream.	108

Σχήμα 49: Ο αγωγός Φυσικού αερίου <i>Maghreb-Europe</i>	109
Σχήμα 50: Ο αγωγός φυσικού αερίου <i>Trans Mediterranean</i>	110
Σχήμα 51: Ο Νότιος Διάδρομος.	112
Σχήμα 52: Ο αγωγός φυσικού αερίου <i>Tabriz Ankara</i>	113
Σχήμα 53: Ο αγωγός φυσικού αερίου <i>TAP</i>	116
Σχήμα 54: Διάγραμμα ροής δημιουργίας μοντέλου.	121
Σχήμα 55: Χάρτης με τις χώρες – κόμβους του μοντέλου μας.	124
Σχήμα 56: Χάρτης με τους αγωγούς και τους σταθμούς LNG (υφιστάμενους και μελλοντικούς).	125
Σχήμα 57: Αρχείο mod μεταβλητών, περιορισμών και εξισώσεων.	128
Σχήμα 58: Αρχείο καθορισμού solver και εκτέλεσης προγράμματος.	128
Σχήμα 59: Πορεία επίλυσης στο προγραμματιστικό περιβάλλον του AMPL.	129
Σχήμα 60: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης.	139
Σχήμα 61: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης.	141
Σχήμα 62: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης	152
Σχήμα 63: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης.	153
Σχήμα 64: Αποτελέσματα ποσότητας φυσικού αερίου ανά αγωγό για το σενάριο 0 (bcm)	163
Σχήμα 65: Χάρτης Ευρώπης με τους πόλους τροφοδότησης φυσικού αερίου στο σενάριο 0.	164
Σχήμα 66: Αποτελέσματα ποσότητας φυσικού αερίου ανά αγωγό για το σενάριο 1 (bcm)	166
Σχήμα 67: Χάρτης Ευρώπης με τους πόλους τροφοδότησης φυσικού αερίου στο σενάριο 1.	167
Σχήμα 68: Αποτελέσματα ποσότητας φυσικού αερίου ανά αγωγό για το σενάριο 2 (bcm)	169
Σχήμα 69: Χάρτης Ευρώπης με τους πόλους τροφοδότησης φυσικού αερίου στο σενάριο 2.	170

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ	60
Πίνακας 2: Στοιχεία κύριων αγωγών φυσικού αερίου από Βόρεια Θάλασσα.	106
Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας αγωγών φυσικού αερίου από Ρωσία και Β. Θάλασσα.....	117
Πίνακας 4 Συγκεντρωτικός πίνακας αγωγών φυσικού αερίου από Αφρική και Μ. Ανατολή.	118
Πίνακας 5 Απόσπασμα Μητρώου Δικτύου.	127
Πίνακας 6: Κατανάλωση Φυσικού Αερίου για τις Χώρες της Ευρώπης και την Τουρκία το 2015 (bcm).	134
Πίνακας 7: Εισαγωγές LNG ανά ευρωπαϊκή χώρα (bcm) και χωρητικότητες σταθμών LNG.....	135
Πίνακας 8: Κύριοι αγωγοί φυσικού αερίου που τροφοδοτούν την Ευρώπη.	135
Πίνακας 9: Συνολική κατανάλωση Φ.Α., τοπική παραγωγή και Καθαρή Ζήτηση για τις ευρωπαϊκές χώρες, την Τουρκία, στοιχεία 2015 (σε bcm) ³	137
Πίνακας 10: Συγκεντρωτικά στοιχεία παροχής φυσικού αερίου από αγωγούς και τερματικούς σταθμούς LNG που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο.	138
Πίνακας 11: Δείκτης Πυκνότητας Δικτύου για τις ευρωπαϊκές χώρες συν της Τουρκίας (km / km ²)	140
Πίνακας 12: Νέες καταναλώσεις (bcm) για το Σενάριο 1 λαμβάνοντας υπόψιν τους δύο δείκτες.	142
Πίνακας 13: Εισαγωγές LNG ανά ευρωπαϊκή χώρα (bcm) και χωρητικότητες σταθμών LNG.	143
Πίνακας 14: Κύριοι αγωγοί που τροφοδοτούν την Ευρώπη.	144
Πίνακας 15: Συγκεντρωτικά Στοιχεία Ζήτησης για Εφαρμογή στο AMPL.....	145
Πίνακας 16: Συγκεντρωτικά Στοιχεία Παραγωγής για Εφαρμογή στο AMPL.....	146
Πίνακας 17: Σύγκριση Κατανάλωσης CNG αυτοκινήτων με τη Συνολική Κατανάλωση Φυσικού Αερίου στον Τομέα των Μεταφορών. ⁹⁰	147
Πίνακας 18: Στοιχεία επιβατικών οχημάτων CNG και συνολικού στόλου το 2015.	149
Πίνακας 19: Αύξηση Κατανάλωσης Φυσικού Αερίου λόγω των CNG αυτοκινήτων.	150
Πίνακας 20: Στοιχεία Επιβατικών Οχημάτων Πρατηρίων Ανεφοδιασμού για το 2015.	151

Πίνακας 21: Σύνοψη σεναρίου – Νέες Καταναλώσεις.....	154
Πίνακας 22: Εισαγωγές LNG ανά ευρωπαϊκή χώρα (bcm) και χωρητικότητες σταθμών LNG.	155
Πίνακας 23: Κύριοι αγωγοί που τροφοδοτούν την Ευρώπη.....	156
Πίνακας 24: Συγκεντρωτικά Στοιχεία ζήτησης για Εφαρμογή στο AMPL.	157
Πίνακας 25: Συγκεντρωτικά Στοιχεία Παραγωγής για Εφαρμογή στο AMPL.	158
Πίνακας 26: Εισαγωγές LNG ανά ευρωπαϊκή χώρα (bcm) και χωρητικότητες σταθμών LNG.....	159
Πίνακας 27: Κύριοι αγωγοί που τροφοδοτούν την Ευρώπη.....	160
Πίνακας 28: Αναλυτική περιγραφή σεναρίων.....	161
Πίνακας 29: Συγκεντρωτικός πίνακας κατανομής των βασικών πόλων παραγωγής.	172

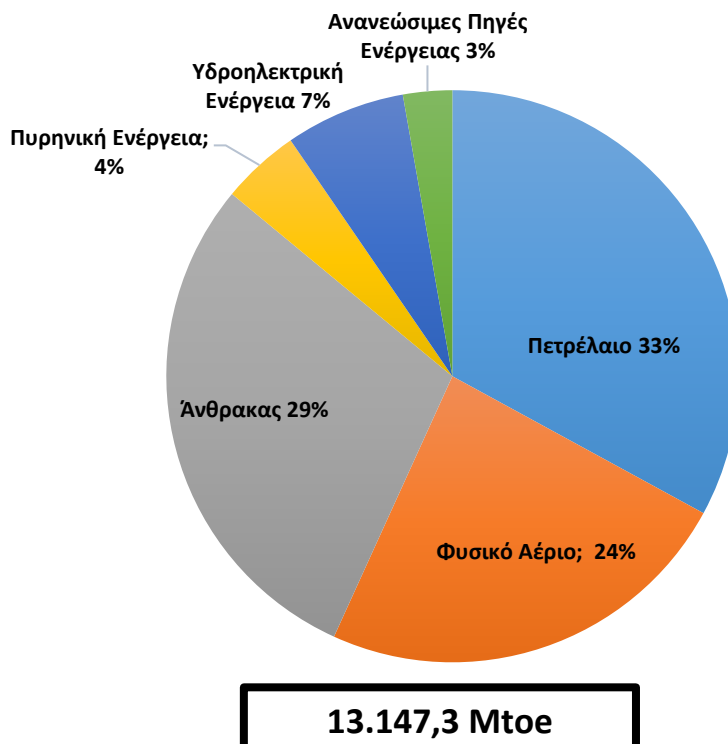
1 Εισαγωγή

1.1 Η ενέργεια στο σύγχρονο κόσμο

Το σύνολο των καθημερινών δραστηριοτήτων μας πραγματοποιείται με τη χρήση κάποιας μορφής ενέργειας (ηλεκτρισμός, χημική ενέργεια, θερμική ενέργεια κλπ.). Η ενέργεια αποτελεί βασικό παράγοντα για κάθε πράγμα στη ζωή μας και έχει άμεση σχέση με την οικονομική ανάπτυξη των χωρών, όπως και την καθημερινότητα του καθενός μας. Επομένως η ενέργεια αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο της οικονομικής δραστηριότητας αλλά και της κοινωνικής ζωής των βιομηχανικών κυρίως χωρών.

Η ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται στις ανθρώπινες δραστηριότητες, προέρχεται είτε από τη χρήση ορυκτών καυσίμων, είτε από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που παράγεται μέσω της χρήσης ακριβών και πολύπλοκων συσκευών και εγκαταστάσεων. Οι βασικοί τομείς στους οποίους χρησιμοποιείται η ενέργεια είναι η βιομηχανία, οι μεταφορές και η οικιακή χρήση. Το σύνολο της παγκόσμιας κατανάλωσης το 2015 έφτασε τα 13.147 Mtoe όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

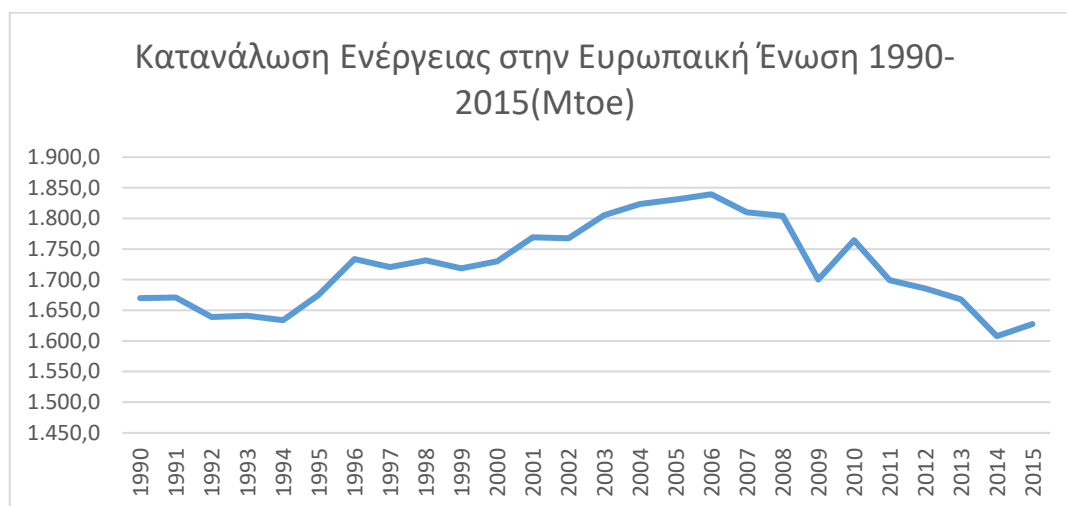
Παγκόσμια Κατανάλωση Ενέργειας 2015 (Mtoe)



Σχήμα 1: Κατανομή παγκόσμιας κατανάλωσης ανά καύσιμο το 2015.¹

Σύμφωνα με το Σχήμα 1 το πετρέλαιο διατηρεί το βασικό μερίδιο στην κατανάλωση της ενέργειας με ποσοστό 33% και ακολουθεί ο άνθρακας με ποσοστό 29%. Εκτός από το πετρέλαιο και τον άνθρακα το ενεργειακό μίγμα απαρτίζεται από το φυσικό αέριο, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την πυρηνική ενέργεια και την υδροηλεκτρική ενέργεια. Το φυσικό αέριο που μελετάμε στη παρούσα διπλωματική κατέχει και αυτό σημαντικό μερίδιο στην ενεργειακή αγορά με το ποσοστό του να φτάνει το 24%, σημειώνοντας τεράστια άνοδο σε σχέση με το 1973 όπου κατείχε μόλις το 16% της συνολικής κατανάλωσης².

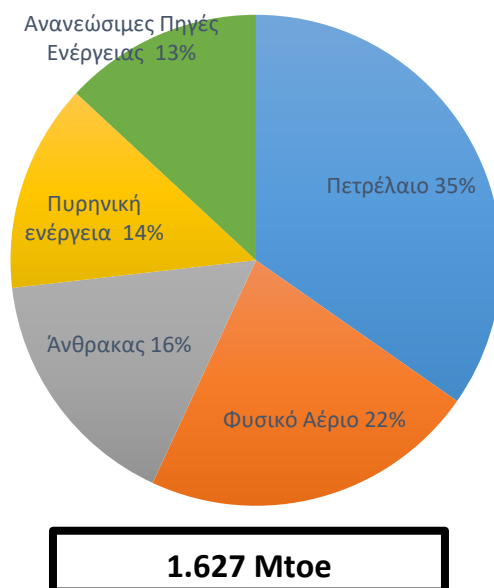
Στην Ευρωπαϊκή Ένωση παρατηρήθηκε αυξητική τάση της κατανάλωσης της ενέργειας από το 1990 έως το 2009 λόγω της οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης των ευρωπαϊκών χωρών. Το 2009 αποτέλεσε τη χρονιά ορόσημο της μείωσης της ζήτησης ενέργειας λόγω της οικονομικής κρίσης που δημιουργήθηκε σε παγκόσμιο επίπεδο. Η καθοδική αυτή πορεία διήρκεσε μέχρι το 2014 όπου και σταθεροποιήθηκε μέχρι και σήμερα.



Σχήμα 2: Κατανάλωση ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (EU28) 1990-2015.³

Το ενεργειακό μείγμα της Ευρώπης διαφέρει από το παγκόσμιο, καθώς το φυσικό αέριο κατέχει τη δεύτερη θέση με ποσοστό 22%. Παρατηρείται αυξανόμενη τάση γεγονός που δικαιολογεί την επένδυση στην κατασκευή νέων αγωγών φυσικού αερίου και τερματικών σταθμών υδροποιημένου φυσικού αερίου.

Κατανάλωση Ενέργειας ανά Καύσιμο EU28 2015



Σχήμα 3: Συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης EU28 το 2015.⁴

1.2 Βασικές έννοιες της ενέργειας

Πρωτογενής και Δευτερογενής ενέργεια

Με τον όρο **ενεργειακές πηγές** (energy sources) γίνεται λόγος για τις πηγές από τις οποίες μπορεί να παραχθεί ενέργεια με τη μορφή θερμότητας, φωτός και ισχύος. Η ενέργεια χωρίζεται σε δύο μεγάλες βασικές κατηγορίες: την πρωτογενή και τη δευτερογενή ενέργεια.

Η **πρωτογενής ενέργεια** (primary energy) είναι η ενέργεια που προέρχεται κατευθείαν από τον ήλιο ή τη γη. Δεν απαιτείται επεξεργασία για τη μετατροπή της σε χρήσιμη ενέργεια και χρησιμοποιείται απευθείας από το φυσικό περιβάλλον. Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται τα ορυκτά καύσιμα όπως γαιάνθρακας, αργό πετρέλαιο, φυσικό αέριο, τύρφη και τα πυρηνικά καύσιμα (ουράνιο, θόριο, λίθιο και δευτέριο). Ακόμη, στην ίδια ομάδα βρίσκονται η αιολική ενέργεια, η ενέργεια των λιμνών, των ποταμών και τον κυμάτων και η γεωθερμική με τη μορφή θερμού νερού και γεωθερμικού ατμού. Επίσης, περιλαμβάνεται η ηλιακή ενέργεια και η βιομάζα με τη μορφή ξυλείας. Το 2014 στην Ευρώπη των 28 η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας το 2015 ήταν 770.000 ktoe, δηλαδή εμφάνισε μείωση κατά 0.8% σε σχέση με το 2014 με τη μεγαλύτερη μείωση στο φυσικό αέριο (-8.2%).

Η **δευτερογενής ενέργεια** (secondary energy) περιλαμβάνει τις μορφές ενέργειας που προκύπτουν από τη μετατροπή πρωτογενούς ενέργειας μέσω χημικών, φυσικών, μηχανικών, θερμικών ή πυρηνικών δράσεων για να χρησιμοποιηθεί ως χρήσιμη

ενέργεια. Δηλαδή, στην κατηγορία αυτή ανήκουν ορυκτά καύσιμα από γαιάνθρακα (όπως μεθανόλη, αεριοποίηση γαιάνθρακα, κοκ) ή από αργό πετρέλαιο (όπως βενζίνη που παίρνουμε από τα διυλιστήρια, κηροζίνη, βουτάνιο, ανακυκλωμένα λιπαντικά). Ακόμη, δευτερογενής πηγή ενέργειας είναι το τρίτιο και το πλουτώνιο (πυρηνική ενέργεια) και από την κατηγορία της βιομάζας ανήκουν για παράδειγμα τα παραπροϊόντα ξυλείας και οι φλοιοί, τα κατάλοιπα ζαχαροκάλαμου και άλλα παραπροϊόντα τροφίμων, οικιακά απορρίμματα και βιοαέριο. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού μέσω κατάλληλου εξοπλισμού όπου γίνεται η απαραίτητη μετατροπή των πρωτογενών μορφών ενεργείας σε ηλεκτρισμό.

Ενέργεια από Μη Ανανεώσιμες Πηγές



Τα ορυκτά καύσιμα είναι καύσιμα προερχόμενα από φυσικές πηγές οργανισμών και αποτελούν σήμερα την κύρια πηγή ενέργειας για ολόκληρο τον κόσμο. Δεν αποτελούν ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, γιατί χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν και έτσι εξαντλούνται με ταχύτερο ρυθμό από τον ρυθμό με τον οποίο σχηματίζονται. Η κατανάλωσή τους ενισχύει το περιβαλλοντικό πρόβλημα και για να περιοριστεί η κατανάλωσή τους τα τελευταία χρόνια, αναπτύσσονται όλο και περισσότερο οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας. Τα υλικά των ορυκτών καυσίμων μπορεί να είναι ελαφρά αέρια όπως το μεθάνιο ή σκληρά στερεά σώματα όπως ο ανθρακίτης. Τα ορυκτά καύσιμα σχηματίζονται από την αναερόβια αποσύνθεση των οργανισμών που απομένουν στο υπέδαφος της γης, συμπεριλαμβανομένου και του ζωοπλαγκτόν ή φυτοπλαγκτόν, που εναποτίθεται στον βυθό της θάλασσας ή λιμνών. Υπάρχει ένα ευρύ μείγμα υδρογονανθράκων που συναντάται στα ορυκτά καύσιμα. Το κάθε μείγμα έχει χαρακτηριστικές ιδιότητες όπως σημείο βρασμού, σημείο τήξης, πυκνότητα και ιξώδες. Ορισμένα καύσιμα όπως το φυσικό αέριο περιλαμβάνουν μόνο αέριους υδρογονάνθρακες με χαμηλό σημείο βρασμού ενώ άλλα όπως η γκαζολίνη και το ντίζελ περιέχουν υδρογονάνθρακες με υψηλότερα σημεία βρασμού.

Τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας διακρίνονται σε:

- Στερεά Καύσιμα

Στα στερεά καύσιμα περιλαμβάνονται οι ορυκτοί άνθρακες (βιτουμενιούχοι, ανθρακίτες, λιγνίτες, τύρφη κλπ.). Ως στερεά καύσιμα ακόμη θεωρούνται η βιομάζα

και τα άχρηστα αστικά στερεά απορρίμματα (ελαστικά, πλαστικά, αποξηραμένη υλός εγκαταστάσεων βιολογικών καθαρισμών κ.α.)

- Αέρια Καύσιμα

Στα αέρια καύσιμα περιλαμβάνονται το φυσικό αέριο (με κύριο συστατικό το μεθάνιο), αέριοι υδρογονάνθρακες ανώτεροι του μεθανίου που παράγονται από την απόσταξη του πετρελαίου και αέρια από την εξαέρωση διαφόρων τύπων υδρογονανθράκων.

- Υγρά καύσιμα

Τα υγρά καύσιμα είναι τα διάφορα κλάσματα απόσταξης αργού πετρελαίου (ελαφρά και βαρέα κλάσματα, κηροζίνη, ντίζελ κ.α.) και υγροί υδρογονάνθρακες, όπως μεθανόλη και αιθανόλη.

Τα ορυκτά καύσιμα είναι πολύ καλή ενεργειακή ύλη, γιατί με την καύση τους παράγουν μεγάλο ποσό ενέργειας. Η χρήση τους ως καύσιμο ξεκινάει από τα πρώιμα χρόνια της ανθρώπινης ιστορίας. Σύμφωνα με μελέτες της IEA (World Energy Outlook), τα ορυκτά καύσιμα θα συνεχίσουν να αποτελούν την κύρια ενεργειακή πηγή έως το 2030, σημειώνοντας μάλιστα αύξηση παραγωγής τους μεταξύ 1.5 -2.5%.

Τα περισσότερα ορυκτά καύσιμα αξιοποιούν τη δυναμική ενέργεια που περιέχουν μέσω της διεργασίας της καύσης. Η αντίδραση της καύσης (combustion process) είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα οξείδωσης και αναγωγής. Κατά την καύση επειδή οι αντιδράσεις του άνθρακα και του υδρογόνου και του οξυγόνου του αέρα προς παραγωγή CO₂ και H₂O είναι εξώθερμες παράγεται ενέργεια υπό τη μορφή θερμότητας και φωτεινής ακτινοβολίας. Μέρος της παραγόμενης θερμότητας καταναλώνεται για τη διατήρηση του νερού υπό τη μορφή υδρατμών και απάγεται στο περιβάλλον και η υπόλοιπη αξιοποιείται ως θερμική ενέργεια ή μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας πχ ηλεκτρική.

Μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που δεν περιλαμβάνει τη διεργασία καύσης (non combustion process) είναι η πυρηνική. Η μορφή αυτή ενέργειας παράγεται στους Πυρηνικούς Αντιδραστήρες, οφείλεται στο φαινόμενο της σχάσης και βρίσκεται εγκλωβισμένη στον πυρήνα ενός ατόμου. Στην πυρηνική διάσπαση, τα άτομα διαχωρίζονται και σχηματίζουν μικρότερα άτομα, απελευθερώνοντας ενέργεια. Οι εγκαταστάσεις πυρηνικής ενέργειας χρησιμοποιούν την πυρηνική διάσπαση για να παραγάγουν ηλεκτρική ενέργεια. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται ευρύτατα από τις πυρηνικές εγκαταστάσεις για την πυρηνική διάσπαση είναι το ουράνιο. Το ουράνιο είναι μη ανανεώσιμο, αν και είναι ένα κοινό μέταλλο που βρίσκεται στα πετρώματα σε όλο τον κόσμο. Ο βασικός λόγος χρήσης του ως καύσιμο είναι το γεγονός ότι τα άτομά του διαχωρίζονται εύκολα.

Ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές

Με τον όρο ανανεώσιμες πηγές ενέργεια αναφερόμαστε σε μορφές ενέργειας οι οποίες ανανεώνονται με σταθερό ρυθμό και σχετικά γρήγορα. Σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ως ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές θεωρείται η αιολική, η υδροηλεκτρική, η ενέργεια, από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και από βιοαέριο, η ηλιακή, η αεροθερμική, η γεωθερμική, η υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών. Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση αλλά γίνεται εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδесμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.



Οι ΑΠΕ παρουσιάζουν πολλαπλά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών καυσίμων. Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας (ήλιος, άνεμος, ποτάμια, οργανική ύλη, κ.α.) και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους, όπως είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, ο άνθρακας, κλπ. Αποτελούν (μαζί με την εξοικονόμηση ενέργειας) την κατ' εξοχήν περιβαλλοντικά φιλική λύση για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε μείωση των εκπομπών και από άλλους ρυπαντές, όπως είναι π.χ. τα οξείδια του θείου που προκαλούν την όξινη βροχή, τα οξείδια του αζώτου που προκαλούν το φωτοχημικό νέφος, τα αιωρούμενα σωματίδια, κ.α. Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο. Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και συμβάλλουν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής (δίκτυα, δρόμοι, κλπ.) και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας. Έχουν συνήθως χαμηλό

λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων. Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ σχεδιάζονται συνήθως για να καλύπτουν τις συγκεκριμένες ανάγκες των χρηστών, τόσο σε μικρή όσο και σε μεγάλη κλίμακα εφαρμογών, και έχουν μικρό σχετικά χρόνο κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει ήδη προσαρμόσει την ενεργειακή της πολιτική προς την επίτευξη της μέγιστης μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από μονάδες παραγωγής ενέργειας. Μέσα σε αυτά τα πλαίσια, η ΕΕ έχει προσδιορίσει ως στρατηγικό στόχο μέχρι το 2020 την επίτευξη τουλάχιστον 20% μείωσης στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τα επίπεδα εκπομπών του 1990. Αυτός ο στρατηγικός στόχος αποτελεί τον πυρήνα της νέας Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ. Αναγνωρίζοντας τα θετικά στοιχεία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) προς την επίτευξη του στόχου αυτού, η ΕΕ έχει αποφασίσει συγκεκριμένες δράσεις για την διευκόλυνση της ενσωμάτωσης των ΑΠΕ στο υφιστάμενο Ευρωπαϊκό σύστημα παραγωγής ενέργειας. Συγκεκριμένα, έχει ψηφισθεί ένα δεσμευτικό σχέδιο δράσης με την μορφή Ευρωπαϊκής Οδηγίας (2009/28/EC) για την προώθηση της χρήσης των ΑΠΕ, όπου το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ έχει τεθεί να φθάσει στο 20% μέχρι το έτος 2020.

Η έννοια του Τόνου Ισοδύναμου Πετρελαίου

Η έννοια του τόνου ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ) είναι μονάδα ενέργειας και συχνά βρίσκεται στη βιβλιογραφία ως toe (ton ή tonne of oil equivalent)⁵. Σύμφωνα με αυτό μετριοούνται τα ορυκτά καύσιμα για να υπάρξει κοινό σημείο αναφοράς. Ισοδυναμεί με την ενέργεια που εκλύεται από την καύση ενός τόνου αργού πετρελαίου και είναι περίπου ίσος με 42 GJ. Καθώς όμως το αργό πετρέλαιο δεν έχει πάντα την ίδια σύνθεση, η τιμή αυτή ορίζεται βάσει σύμβασης. Συγκεκριμένα, η IEA (International Energy Agency) και ο Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Organization for Economic Co-operation and Development) ορίζουν τον Τ.Ι.Π. ίσο με 41.868GJ ή 11.63MWh.

Ενεργειακή ασφάλεια

Η έννοια της ενεργειακής ασφάλειας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με αυτήν της ενεργειακής ανεξαρτησίας και ορίζεται ως η αξιόπιστη και επαρκής προμήθεια οποιαδήποτε μορφής ενέργειας σε λογικές τιμές.

Χαρακτηριστικά ενεργειακής ασφάλειας

- Πρόσβαση σε πολλές και εναλλακτικές μεταξύ τους πηγές ενέργειας.
- Η προσιτή τιμή προς τον τελικό καταναλωτή.
- Η αποτελεσματική διαχείριση των υποδομών και η εφαρμογή καινοτομίας.
- Η υιοθέτηση αρχών για την περιβαλλοντική και κοινωνική βιωσιμότητα.
- Η ύπαρξη σταθερού και διαυγούς ρυθμιστικού και κανονιστικού πλαισίου ενέργειας.

1.3 Η έννοια της ενέργειας στις μεταφορές

Ο τομέας των μεταφορών απαιτεί ενέργεια με τη μορφή καυσίμων και ο τομέας της ενέργειας απαιτεί τη μετακίνηση των ενεργειακών υλών (π.χ. άνθρακα ή φυσικό αέριο για θερμοηλεκτρικούς σταθμούς). Κάθε σύστημα πρέπει να ικανοποιήσει τις ανάγκες του με την υπάρχουσα ικανότητα. Ταυτόχρονα, το κόστος των παραπάνω απαιτήσεων έχει αντίκτυπο στις τελικώς διαμορφωμένες τιμές τόσο στον κλάδο της ενέργειας και όσο και των μεταφορών.

Η πρώτη αλληλεπίδραση οφείλεται στο γεγονός ότι τα καύσιμα είναι απαραίτητα για τη μεταφορά εμπορευμάτων και επιβατών. Στην περίπτωση αυτή, το συγκοινωνιακό δίκτυο υποστηρίζει διάφορους τρόπους μεταφοράς και το δίκτυο ενέργειας αποτελείται από το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο, την ηλεκτρική ενέργεια και τα λοιπά καύσιμα. Η μεταφορά των εμπορευμάτων με τη χρήση πετρελαιοκίνητων οχημάτων δημιουργεί ζήτηση καυσίμων στους αντίστοιχους κόμβους στο δίκτυο πετρελαίου. Ομοίως, το ηλεκτρικό όχημα προκαλεί ζήτηση ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η υβριδική επιλογή ακολουθεί το ίδιο μοτίβο, αλλά δημιουργεί ζήτηση ενέργειας σε περισσότερα από ένα δίκτυα.

Η δεύτερη αλληλεπίδραση αντιστοιχεί στην ανάγκη μεταφοράς των ενεργειακών πρώτων υλών, που αποτελούν ταυτόχρονα μέρος του ενεργειακού συστήματος. Για παράδειγμα στο δίκτυο του άνθρακα, ο άνθρακας παράγεται στα ορυχεία, μεταφέρεται και στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, η μεταφορική ικανότητα και τα έξοδα μεταφοράς αναφέρονται στο δίκτυο μεταφορών.

Για την ομαλή λειτουργία απαραίτητος είναι ο εντοπισμός του βέλτιστου σχεδιασμού υποδομών όσον αφορά τις τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, των

μεταφορών και αποθήκευσης ενέργειας, και τα υβριδικά-ηλεκτρικά συστήματα μεταφοράς, λαμβάνοντας υπόψη τη βιωσιμότητα και το αντίστοιχο κόστος.

1.4 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εξετάζει την ενέργεια από τη σκοπιά των καυσίμων που χρειάζεται να μεταφερθούν και συγκεκριμένα τη μεταφορά φυσικού αερίου. Κύριο αντικείμενο είναι η μοντελοποίηση του δικτύου μεταφοράς φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Σκοπός είναι η κατανόηση θεμάτων ενεργειακής ασφάλειας μέσα από τις υφιστάμενες διασυνδέσεις των χωρών παραγωγής και κατανάλωσης του αερίου.

Αρχικά το μοντέλο του δικτύου αναπαραστάθηκε σε περιβάλλον ArcGIS. Μέσω του προγράμματος Excel αποκωδικοποιήθηκε με τη λογική **Γραμμικού Προγραμματισμού** και **Ισορροπίας Κόμβου** και στη συνέχεια το μοντέλο επιλύθηκε με τη **μέθοδο ροής ελαχίστου κόστους** στο προγραμματιστικό περιβάλλον του AMPL. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με την πραγματική κατάσταση, ώστε να γίνουν οι κατάλληλες τροποποιήσεις για να ανταποκρίνονται περισσότερο στην πραγματικότητα. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του μοντέλου αυτού διερευνήθηκαν σενάρια ενεργειακής ασφάλειας και εξήχθησαν τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

1.5 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Η διάρθρωση της παρούσας διπλωματικής είναι η εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια εισαγωγικά στοιχεία για την κατανάλωση της ενέργειας και το φυσικό αέριο στην Ευρώπη, όπως επίσης περιγράφονται και βασικές έννοιες όπως τι είναι πρωτογενής, και δευτερογενής ενέργεια ή ο τόνος ισοδύναμου πετρελαίου και η έννοια του όρου της ενεργειακής ασφάλειας που είναι απαραίτητες για την κατανόηση βασικών θεμάτων για την παρούσα διπλωματική.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα άρθρα που μελετήθηκαν για την βιβλιογραφική επισκόπηση. Αυτά αφορούν κυρίως θέματα που αναλύουν κάποια μοντέλα πρόβλεψης της ζήτησης του φυσικού αερίου, θέματα ενεργειακής ασφάλειας της ζήτησης του φυσικού αερίου στην Ευρώπη, και άρθρα που μοντελοποιούν την ενεργειακή κατάσταση κυρίως των ευρωπαϊκών χωρών.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύονται τα βασικά καύσιμα που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους: το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας. Περιγράφονται οι ιδιότητές τους, πως λειτουργεί η αγορά τους και λοιπά θέματα που βοηθούν να κατανοήσουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή και τη ζήτησή τους. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο φυσικό αέριο που είναι και αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύθηκε η ζήτηση του φυσικού αερίου για το χώρο της Ευρώπης και κατανοήθηκε το δίκτυο τροφοδότησής της. Διαπιστώθηκαν τέσσερις βασικοί πόλοι από τους οποίους η Ευρώπη εισάγει φυσικό αέριο, από Ρωσία, από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας, από τις χώρες της Αφρικής και από τα κοιτάσματα της Μέσης Ανατολής. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος που αναπτύχθηκε το μοντέλο και τα σενάρια ενεργειακής ασφάλειας που εξετάστηκαν.

Στο πέμπτο κεφάλαιο καταγράφονται τα βασικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας καθώς και οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα, με βάση το μοντέλο που αναπτύχθηκε.

2 Βιβλιογραφική Επισκόπηση

2.1 Μοντέλα πρόβλεψης ζήτησης

Οι **Ioannis P. Panapakidis** και **Athanasios S. Dagoumas** στην εργασία τους με τίτλο **“Day-ahead natural gas demand forecasting based on the combination of wavelet transform and ANFIS/genetic algorithm/neural network model”**⁶ προτείνουν ένα νέο υβριδικό υπολογιστικό μοντέλο που προβλέπει την καθημερινή ζήτηση φυσικού αερίου που συνδυάζει:

- Wavelet Transform (WT),
- Genetic Algorithm (GA),
- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS),
- Feed-Forward Neural Network (FFNN).

Το μοντέλο εφαρμόζεται σε όλα τα σημεία διανομής που συνθέτουν το δίκτυο φυσικού αερίου μιας χώρας, σε αντίθεση με την πλειοψηφία των μοντέλων στην βιβλιογραφία που επικεντρώνονται σε περιορισμένο αριθμό σημείων διανομής. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τη σύγκριση της απόδοσης του μοντέλου έναντι άλλων μοντέλων κατανάλωσης, παρέχοντας επίσης γνώση των χαρακτηριστικών των μεγάλων αστικών κέντρων, των μικρών πόλεων, των βιομηχανικών περιοχών, των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, των πρατηρίων και άλλων. Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα, τα χαμηλότερα σφάλματα συναντήθηκαν στα κέντρα των μεγάλων πόλεων. Το προτεινόμενο μοντέλο χαρακτηρίζεται από υψηλή ευελιξία, εκτεταμένη λειτουργία και χαμηλές απαιτήσεις για υπολογισμό. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από σύγχρονες επιχειρήσεις κοινής ωφελείας, φορείς εκμετάλλευσης δικτύου και τους συμμετέχοντες στην αγορά. Το πρόβλημα πρόβλεψης φυσικού αερίου είναι μια πολύ δύσκολη διαδικασία. Τα δεδομένα ζήτησης αερίου είναι ευμετάβλητα και μπορούν να επηρεαστούν από μια διαφορετική ομάδα μεταβλητών. Ως εκ τούτου, πρέπει να καταβληθεί μεγαλύτερη προσπάθεια με στόχο την αύξηση της ακρίβειας των προβλέψεων.

Οι **Wei Zhanga** και **Jun Yangb** στην εργασία τους με τίτλο **“Forecasting natural gas consumption in China by Bayesian Model Averaging”**⁷ παρουσιάζουν μια συνδυαστική μέθοδο για την πρόβλεψη κατανάλωσης του φυσικού αερίου από Bayesian Model Averaging (BMA). Το συγκεκριμένο μοντέλο αντιμετωπίζει αποτελεσματικά την αβεβαιότητα που σχετίζεται με την κατασκευή ενός μοντέλου και την επιλογή των παραμέτρων του και ως εκ τούτου βελτιώνει την ακρίβεια πρόβλεψης. Στην συγκεκριμένη εργασία έχουν επιλεγεί έξι μεταβλητές για την πρόβλεψη της κατανάλωσης φυσικού αερίου στην Κίνα:

- Το ΑΕΠ
- Ο πληθυσμός των πόλεων
- Η δομή της κατανάλωσης ενέργειας
- Η δομή της βιομηχανίας
- Η Ενεργειακή Απόδοση
- Οι εξαγωγές προϊόντων και υπηρεσιών

Τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου μοντέλου δείχνουν ότι η μέθοδος BMA παρέχει ένα ευέλικτο εργαλείο έναντι στα μοντέλα Γραμμικής Παλινδρόμησης , των Grey Prediction Models και των Artificial Neural Network.

Οι **Faheemullah Shaikh, Qiang Ji, Pervez Hameed Shaikh, Nayyar Hussain Mirjat, Muhammad Aslam Uqaili** με την εργασία τους με τίτλο **“Forecasting China’s natural gas demand based on optimised nonlinear grey models”**⁸ συμπεραίνουν ότι το Φυσικό Αέριο έχει εισχωρήσει στο ενεργειακό μίγμα της ενεργειακής κατανάλωσης της Κίνας, απειλώντας την ισχυρή θέση που κατέχει αυτή την στιγμή ο άνθρακας. Το φυσικό αέριο είναι μια επιλογή χαμηλών εκπομπών άνθρακα για την κυβέρνηση της Κίνας να εκπληρώσει τις εθελοντικές δεσμεύσεις της με τη διεθνή κοινότητα για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η μελέτη αυτή έχει κατασκευάσει το μοντέλο πρόβλεψης κατανάλωσης φυσικού αερίου στην Κίνα με τη χρήση δύο βελτιστοποιημένη μη γραμμικών μοντέλα: το Verhulst μοντέλο και το μη γραμμικό Bernoulli μοντέλο. Και τα δύο αυτά μοντέλα υπολογίζουν με ακρίβεια την πραγματική κατανάλωση φυσικού αερίου της Κίνας και προβλέπουν ότι η ζήτηση φυσικού αερίου της χώρας θα φθάσουν 315 δισεκατομμύρια m³ έως το 2020. Επιπλέον, οι υπάρχουσες και προβλεπόμενες προμήθειες φυσικού αερίου και οι ικανότητες των εισαγωγών, όπως υγροποιημένο φυσικό αέριο και αγωγού φυσικού αερίου, έχουν αξιολογηθεί για να αποκτήσουν μια καλύτερη κατανόηση των τάσεων προσφοράς και της ζήτησης και των εισαγωγών.

Στην μελέτη του ο **Jolanta Szoplik** με τίτλο: **“Forecasting of natural gas consumption with artificial neural networks”**⁹ προβλέπει την κατανάλωση του φυσικού αερίου στην Πολωνία. Σε αυτή τη μελέτη, τα αποτελέσματα της πρόβλεψης της ζήτησης φυσικού αερίου επιτυγχάνονται με τη χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Στο μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκαν σαν παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση του φυσικού αερίου από μικρούς μεμονωμένους καταναλωτές μέχρι και μικρές βιομηχανίες το ημερολόγιο (μήνας, ημέρα του μήνα, ημέρα της εβδομάδας, την ώρα) και οι καιρικές συνθήκες (θερμοκρασία).

Στην μελέτη με τίτλο **“Modelling and forecasting the demand for natural gas in Pakistan”**¹⁰ ο **Muhammad Arshad Khan** εξετάζει την τάση της κατανάλωσης του φυσικού αερίου στο Πακιστάν βασιζόμενος σε στοιχεία της περιόδου 1978-2011. Πρόκειται για ένα οικονομετρικό μοντέλο που βασίζεται στο εισόδημα των πολιτών

στην τιμή του φυσικού αερίου και στη ζήτησή του την παραπάνω περίοδο. Οι ελαστικότητες που υπολογίστηκαν των παραπάνω μεγεθών έδειξαν ότι το πραγματικό κατά κεφαλήν ΑΕΠ έχει μεγαλύτερη επίδραση στην κατανάλωση του φυσικού αερίου σε σύγκριση με την τιμή του δείχνοντας έτσι την αδιαφορία των πολιτών του Πακιστάν για την τιμή του φυσικού αερίου. Τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από το παρελθόν κατέδειξαν των διαχωρισμό της κατανάλωσης του φυσικού αερίου σε τρεις βασικούς τομείς της καθημερινής μας ζωής : στο τομέα των μεταφορών , στο τομέα των νοικοκυριών (οικιακός τομέας) και στο τομέα της βιομηχανίας. Στην συγκεκριμένη μελέτη εξετάστηκαν δύο σενάρια για την πρόβλεψη της ζήτησης του φυσικού αερίου την περίοδο 2012-2020: το ακραίο σενάριο (extreme scenario) και το μέτριο σενάριο (moderate scenario). Αυτά συγκρίνονται με το baseline scenario το οποίο είναι αυτό που είναι πιο κοντά στα πραγματικά δεδομένα. Τα ευρήματα αυτής της μελέτης έχουν σημαντικές επιπτώσεις όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και την οικονομική ανάπτυξη. Ιδιαίτερα, οι ελαστικότητες των τιμών του φυσικού αερίου αλλά και του κατά κεφαλήν ΑΕΠ έχει πρακτική σημασία για τις κατάλληλες μελλοντικές πολιτικές τιμολόγησης. Επιπλέον, τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον κατάλληλο σχεδιασμό υποδομών και επενδύσεων που αφορούν την αγορά του φυσικού αερίου στο μέλλον.

Η εργασία του **Erkan Erdogan** με τίτλο: **“Natural gas demand in Turkey”**¹¹ εστιάζει στα χαρακτηριστικά της ζήτησης του φυσικού αερίου της Τουρκίας και εκτιμάται βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα η ελαστικότητα των τιμών του φυσικού αερίου και του κατά κεφαλήν εισοδήματος στην Τουρκία. Κατά μέσο όρο, η ζήτηση ενέργειας της Τουρκίας αυξάνεται κατά 8% σε ετήσια βάση, ένα από τα υψηλότερα ποσοστά στον κόσμο. Το φυσικό αέριο κατέχει την πρώτη θέση ανάμεσα στις Η κατανάλωση αερίου ξεκίνησε στα 0.5 bcm (δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα) το 1987 και έφθασε περίπου 35 bcm το 2007. Τουρκικό χρήση φυσικού αερίου προβλέπεται να αυξηθεί περαιτέρω αξιοσημείωτα κατά τα προσεχή έτη. Η μελλοντική αύξηση της ζήτησης αυτής είναι, επίσης, προβλέπεται χρησιμοποιώντας μια μοντελοποίηση ARIMA και τα αποτελέσματα σε σχέση με τις επίσημες προβλέψεις.

Το ενεργειακό μοντέλο PRIMES¹² προσομοιώνει το ευρωπαϊκό ενεργειακό σύστημα και τις αγορές με βάση τη σύγκριση -χώρα με χώρα- και σε ολόκληρη την Ευρώπη για ολόκληρο το ενεργειακό σύστημα. Το μοντέλο παρέχει προβλέψεις λεπτομερών ενεργειακών ισοζυγίων, τόσο για τη ζήτηση και την προσφορά, τις εκπομπές CO₂, τις επενδύσεις, της ζήτησης και της προσφοράς, της διείσδυσης της ενεργειακής τεχνολογίας, τις τιμές και το κόστος. Το μοντέλο παράγει προβλέψεις για την περίοδο 2015-2050 σε 5 έτη χρονικά διαστήματα. Τα στοιχεία βασίζονται στις στατιστικές της Eurostat για τα έτη 2000-2010. Το μοντέλο PRIMES καλύπτει ατομικές προβλέψεις για τα κράτη μέλη EU28, καθώς επίσης και για τη Νορβηγία, την Ελβετία, την Αλβανία, τη Σερβία, το Μαυροβούνιο, τη Βοσνία-Ερζεγοβίνη, την ΠΓΔΜ και την Τουρκία. Το μοντέλο PRIMES προσομοιώνει μια λύση ισορροπίας για την προσφορά και ζήτηση

ενέργειας και τον υπολογισμό των τιμών που ζήτησης και της προσφοράς. Το μοντέλο PRIMES προσομοιώνει τη συμπεριφορά της ζήτησης και της προσφοράς ξεχωριστά για κάθε τομέα κάτω από διαφορετικές υποθέσεις όσον αφορά την οικονομική ανάπτυξη, τις εκπομπές CO₂ και άλλους περιορισμούς της πολιτικής, της αλλαγής της τεχνολογίας κλπ. Η προσομοίωση των παραγόντων συμπεριφοράς βασίζεται στα μοντέλα μικροοικονομικής που περιλαμβάνουν τεχνικούς περιορισμούς.

2.2 Ισορροπία μεταξύ ζήτησης και προσφοράς

Ο **B. Hacisalihoglu** με την εργασία του **“Turkey's natural gas policy”**¹³ ασχολείται με την πολιτική που ακολουθεί η Τουρκία όσον αφορά το φυσικό αέριο. Τα τελευταία χρόνια, το φυσικό αέριο έχει καταστεί η ταχύτερα αναπτυσσόμενη πηγή πρωτογενούς ενέργειας στην Τουρκία και καθίσταται ολοένα και πιο σημαντικό για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της. Η τοπική παραγωγή σε φυσικό αέριο πληροί μόνο ποσοστό 3% των εγχώριων απαιτήσεων κατανάλωσης της, οι οποίες τείνουν να αυξηθούν δραματικά τα επόμενα χρόνια, αφού φαίνεται να προτιμάται ως βασικό καύσιμο για την βιομηχανία και μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας. Κύριος προμηθευτής της Τουρκίας είναι η Ρωσία, όμως το Τουρκμενιστάν και το Ιράν αντιπροσωπεύουν οικονομικά υγιείς εναλλακτικές λύσεις. Η στρατηγικά πλεονεκτική θέση της όσον αφορά την αγορά φυσικού αερίου της δίνει τη δυνατότητα να μπορεί να εισάγει φυσικό αέριο από διάφορες χώρες ώστε να διαφοροποιήσει τις πηγές της. Το κίνητρο της Τουρκίας για την εύρεση εναλλακτικών πηγών φυσικού αερίου προέρχεται από την επιθυμία της να συμβαδίσει με τις προϋποθέσεις της ΕΕ στον τομέα της ενέργειας για την ένταξη της σε αυτή.

Οι **W. Lise, B. Hobbs, F. Van Oostvoorn** με την εργασία τους **“Natural gas corridors between the EU and its main suppliers: Simulation results with the dynamic GASTALE model”**¹⁴ επικεντρώνονται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ζήτησης και της προσφοράς φυσικού αερίου. Επίσης ασχολείται με τις επενδύσεις που αφορούν, διαδρόμους μεταφοράς φυσικού αερίου, είτε μέσω αγωγών είτε μέσω πλοίων LNG, καθώς και με τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης, που θα επηρεάζουν την ευρωπαϊκή αγορά φυσικού αερίου κατά την περίοδο 2005-2030. Μέσα από τη δημιουργία σεναρίων στόχο έχει να μελετήσει τις επιπτώσεις που έχει η αβεβαιότητα στη μελλοντική ζήτηση φυσικού αερίου, στις επενδύσεις που γίνονται για τις υποδομές μεταφοράς του. Επίσης γίνεται ανάλυση σεναρίων διακοπής της τροφοδοσίας της Ευρώπης από κάποιους παραγωγούς, με τη μορφή μειωμένης δυναμικότητας παροχής των αντίστοιχων αγωγών. Η ανάλυση δείχνει ότι τμήματα της Ευρώπης θα μπορούσε να αντιμετωπίσουν τις αυξήσεις στις τιμές φυσικού αερίου έως και 100% στην περίπτωση μιας μεγάλης χρονικά διακοπής παροχής. Σαν συμπέρασμα έχει ότι για την ταυτόχρονη κάλυψη των αναγκών σε φυσικό αέριο και τη μείωση του ρίσκου για πιθανές διαταραχές στη τροφοδοσία, πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στις συνδέσεις αγωγών από την Ανατολή στη Δύση.

Ο **M. Bilgin** με την εργασία του **“Geopolitics of European natural gas demand: Supplies from Russia, Caspian and the Middle East”**¹⁵ εξετάζει ζητήματα που αφορούν την ευρωπαϊκή ενεργειακή ασφάλεια Όσον αφορά το φυσικό αέριο. Επικεντρώνεται πρώτα σχετικά με την αυξανόμενη ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη και ασχολείται με τυχόν κινδύνους που κρύβονται στην εξάρτηση από τη Ρωσία. Ένα γεγονός που εξετάζεται είναι η διαφωνία της Gazprom με την Ουκρανία, η οποία οδήγησε σε μια διεθνή κρίση του φυσικού αερίου τον Ιανουάριο του 2006, αλλά και πιο πρόσφατα, τον Ιανουάριο του 2009. Επίσης αναλύονται κίνητρα και εμπόδια στη τροφοδοσία της Ευρώπης με χώρες στην ευρύτερη περιοχή της Κασπίας όπως το Αζερμπαϊτζάν, το Καζακστάν και το Τουρκμενιστάν καθώς και της Μέσης Ανατολής όπως το Ιράν, το Ιράκ και την Αίγυπτο. Η γεωπολιτική ανάλυση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η καλύτερη στρατηγική είναι η Ευρώπη να περιλαμβάνει τουλάχιστον δύο χώρες από το Αζερμπαϊτζάν, το Τουρκμενιστάν, το Ιράν και το Ιράκ στο πλαίσιο του συστήματος παροχής της με φυσικό αέριο.

Το 1952 ο Samuelson μετά τον Enke, έθεσε το πρόβλημα των διασυνδεδεμένων ανταγωνιστικών αγορών σε μια νέα μορφή και άνοιξε ένα νέο δρόμο προσέγγισης των χωρικών συστημάτων τιμολόγησης (spatial pricing systems) και την ισορροπία θέσης. Με αυτή την προσέγγιση το πρόβλημα αυτό μετασχηματίστηκε σε πρόβλημα με στόχο την μεγιστοποίηση του κοινωνικού πλεονάσματος (NSP-net social payoff). Το 1964 ο Takayama και ο Judge ανέπτυξαν ένα ανάπτυγμα προγραμματισμού, επεκτείνοντας το στην περίπτωση πολλαπλών προϊόντων και πρότειναν έναν εσφαλμένο τύπο ισοδύναμης τιμής. Σε νέο άρθρο οι Takayama και Judge, βασισμένοι στους Koopmans, Beckmann-Marschak, Stevens και Lefebvre επέκτειναν το μοντέλο για την περίπτωση των γραμμικών σχέσεων ζήτησης των τελικών προϊόντων με πίνακες συντελεστών συμμετρικής απόκρισης. Το έργο αυτό ακολούθησε το άρθρο του Yaron, Plessner και Heady, Plessner και Heady και Yaron, οι οποίοι ασχολήθηκαν την αντιμετώπιση της περίπτωσης κατά την οποία οι συντελεστές των συναρτήσεων ζήτησης δεν λειτουργούσαν με απόλυτη συμμετρία.

Όλα τα παραπάνω ήταν σε κάποιο βαθμό ελλιπή και μέσω της έρευνας των **Takayama, T., και Judge, G.** με τίτλο **“Alternative Spatial Equilibrium Models”**¹⁶ έγινε προσπάθεια προσδιορισμού της χωρικής τιμής και ποσοτικών εξισώσεων, προτείνοντας ένα μοντέλο επαρκές για την περίπτωση του τετραγωνικού ασύμμετρου πίνακα συντελεστών. Παρουσιάζεται μία έκδοση με πολλά προϊόντα του μοντέλου του Samuelson, με γραμμική ζήτηση και προσφορά και συμμετρικούς πίνακες συντελεστών, προτείνοντας έναν ειδικό αλγόριθμο.

Το πρόβλημα διανομής φυσικού αερίου που εξετάζεται στο συγκεκριμένο άρθρο των **De Wolf, D. και Smeers, Y** με τίτλο **“The Gas Transmission Problem Solved by an Extension of the Simplex Algorithm”**¹⁷ αφορά στην ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους προμήθειας μιας εταιρείας μεταφοράς φυσικού αερίου, που ταυτόχρονα

πρέπει να ικανοποιεί τη ζήτηση σε διαφορετικούς κόμβους έχοντας την ελάχιστη εγγυημένη πίεση. Μια τέτοια εταιρεία πρέπει να αποφασίσει για τις ποσότητες αερίου που πρέπει να αγοράσει από διάφορες πηγές για να ικανοποιήσει τη ζήτηση που διανέμεται σε διαφορετικούς κόμβους με ελάχιστες εγγυημένες πιέσεις. Το δίκτυο μιας εταιρείας φυσικού αερίου αποτελείται από πολλά σημεία παροχής, όπου το αέριο εισάγεται στο σύστημα, πολλά σημεία ζήτησης όπου το αέριο ρέει εκτός του συστήματος και τους ενδιάμεσους κόμβους όπου το αέριο απλώς μεταφέρεται. Η αντικειμενική συνάρτηση είναι γραμμική και υπόκειται σε γραμμικούς και μη γραμμικούς περιορισμούς. Η μέθοδος επίλυσης βασίζεται σε τμηματικές γραμμικές προσεγγίσεις της σχέσης ροής-πίεσης. Οι γραμμικοί περιορισμοί αναφέρονται σε διατήρηση της ροής σε κάθε κόμβο του δικτύου. Οι αγωγοί αποτελούν τόξα και μπορεί να είναι παθητικά (απλοί αγωγοί) ή ενεργητικά (αγωγοί με συμπιεστή). Το πρόβλημα επιλύεται μέσω μιας επέκτασης της μεθόδου Simplex και έχει εφαρμοστεί σε πραγματικά προβλήματα (στο βέλγικο δίκτυο φυσικού αερίου), ενώ τα αποτελέσματα έχουν συγκριθεί με εκείνα εναλλακτικών τρόπων επίλυσης, με PLP και SLP (Successive Linear Programming).

2.3 Ενεργειακή ασφάλεια

Οι **Haris Doukas, Charikleia Karakosta, Alexandros Flamos, Maria Flouri** και ο **John Psarras** στην εργασία τους με τίτλο **“Graph theory-based approach for energy corridors network to Greece”**¹⁸ έχουν σαν στόχο τη διερεύνηση της καταλληλότητας της θεωρίας γραφημάτων σε δίκτυα παροχής ενέργειας και η εφαρμογή της στη περίπτωση της Ελλάδος που λόγω της γεωγραφικής της θέσης και λόγω της ενεργειακής εξάρτησης από τις εισαγωγές της παίζει σημαντικό ρόλο και στην ενεργειακή τροφοδοσία όλης της Ευρώπης. Παρουσιάζεται η ευαισθησία και η μεταβλητότητα των ενεργειακών διαδρόμων που τροφοδοτούν την Ελλάδα σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο και γίνεται μια πιλοτική εφαρμογή κάλυψης των ενεργειακών της αναγκών με βάση τον αλγόριθμο της κοντινότερης διαδρομής με την μέγιστη ροή. Στα αποτελέσματα της εργασίας αποδεικνύεται η εφαρμογή της θεωρίας των γραφημάτων στο πρόβλημα που εξετάζεται ακόμη και αν πρόκειται για μια απλουστευμένη προσέγγιση της ενεργειακής ασφάλειας της Ελλάδος.

Οι **Maria Flouri, Charikleia Karakosta, Charikleia Kladouchou** και ο **John Psarras** στην εργασία τους με τίτλο **“How does a natural gas supply interruption affect the EU gas security? A Monte Carlo simulation.”**¹⁹, διερεύνησαν πως μια διακοπή εφοδιασμού της ΕΕ με φυσικό αέριο από την Αλγερία, τρίτος μεγαλύτερος προμηθευτής, θα επηρεάσει την ευρωπαϊκή ασφάλεια φυσικού αερίου, από την άποψη της ικανοποίησης της ζήτησης του φυσικού αερίου. Σήμερα, η ευρωπαϊκή παραγωγή φυσικού αερίου έχει μειωθεί έχοντας, ως εκ τούτου, αυξημένη εξάρτηση από τις εισαγωγές, η οποία εκτιμάται ότι θα φθάσει το 85% μέχρι το 2030. Ως εκ τούτου, η εφαρμογή μιας ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής, προς την κατεύθυνση της

βιωσιμότητας, της ανταγωνιστικότητας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού, είναι περισσότερο από απαραίτητη. Η συγκεκριμένη προσομοίωση της Αλγερίας έγινε με αφορμή τις πολιτικές αναταράξεις που συνέβαιναν εκείνη την περίοδο στην περιοχή αυτή.

Στην εργασία των **Roger Z. Rios-Mercado** και **Conrado Borrás-Sánchez** με τίτλο **“Optimization problems in natural gas transportation systems: A state-of-the-art review”**²⁰ γίνεται μία προσπάθεια συλλογής και καταγραφής των πιο πρόσφατων ερευνητικών εργασιών σχετικά με την μεταφορά του φυσικού αερίου διαμέσου αγωγών. Η βιβλιογραφική επισκόπηση οδηγεί στην ομαδοποίηση τριών βασικών συστημάτων, τη συλλογή, τη μεταφορά και τη διανομή. Στόχος είναι η λεπτομερής παρουσίαση όποιας προσπάθειας γίνεται για τη βελτιστοποίηση του δικτύου μεταφοράς φυσικού αερίου. Εστιάζει κυρίως σε συγκεκριμένες κατηγορίες προβλημάτων όπως τη βραχυπρόθεσμη αποθήκευση φυσικού αερίου (line - packing problems), θέματα ποιότητας (pooling problems) και τη μοντελοποίηση των σταθμών συμπίεσης (fuel cost minimization problems). Εξετάζονται μοντέλα τόσο σταθερής όσο και μεταβατικής κατάστασης. Αποτελεί την πρώτη ολοκληρωμένη έρευνα που λειτουργεί ως εργαλείο ενημέρωσης για τις πιο σύγχρονες μεθοδολογίες στη λήψη αποφάσεων.

Το ενημερωτικό σημείωμα των **Jens Bjørnmoose, Ferran Roca, Tatsiana Turgot** και **Dinne Smederup Hansen** με τίτλο **“Assessment of the Gas and Oil Pipelines in Europe- An extensive Briefing Note.”**²¹ αποτελεί μια αντικειμενική παρουσίαση των τεχνικών, οικονομικών και πολιτικών ζητημάτων σχετικά με τους αγωγούς πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τις εισαγωγές πετρελαίου και αερίου αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις της πολιτικής ατζέντας. Αποτελεί γεγονός ότι ο ενεργειακός χάρτης της Ευρώπης χρειάζεται βελτίωση. Καθώς η μεταφορά αερίου στηρίζεται στη μεταφορά μέσω αγωγών, η υποδομή είναι αρκετά σύνθετη αφού δεν επιδέχεται εύκολα αλλαγές. Η αντίστοιχη υποδομή πετρελαίου είναι λιγότερο σύνθετη, αφού πολλές φορές μεταφέρεται και μέσω δεξαμενόπλοιων. Λόγω των τελευταίων εξελίξεων των διανομέων φυσικού αερίου, ως αποτέλεσμα των πολιτικών συνθηκών μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας, η ενεργειακή ασφάλεια αποτελεί πλέον σοβαρό θέμα, καθιστώντας επιτακτική την ανάγκη βελτίωσης των υφιστάμενων υποδομών.

Ο ενεργειακός χάρτης της Ευρώπης έχει ως εξής:

- ο Υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης στην Ευρώπη, που συνεχώς αυξάνεται αλλάζοντας το μοτίβο της προμήθειας αερίου τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά της Ευρώπης.

- ο Το δίκτυο της Ευρώπης έχει ευελιξία και σωστή λειτουργία ακόμη και σε συνθήκες κρύου, αλλά με υψηλή χρήση της χωρητικής ικανότητας σε μερικές διασυνδέσεις.
- ο Η ζήτηση θα επηρεαστεί από το στόχο 20/20/20. Η ζήτηση του αερίου θα μπορούσε να αυξηθεί με εγκαταστάσεις που θα χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, όταν οι ΑΠΕ δεν θα επαρκούν.
- ο Η ανατολική Ευρώπη είναι επιρρεπής στην προμήθεια αερίου από Ρωσία και σε ότι αλλαγές αυτή έχει.
- ο Οι interconnectors είναι ιδιαίτερα σημαντικοί τόσο για την ασφάλεια την μεταφοράς όσο και για τον ανταγωνισμό των καυσίμων στην αγορά αερίου.
- ο Οι Zeebrugge και Emden αποτελούν σημαντικούς κόμβους (Hubs) και νέοι θα είναι αναγκαίο να κατασκευαστούν για περισσότερη ευελιξία και ασφάλεια.

Σκοπός του ενημερωτικού σημειώματος αυτού είναι η ανάδειξη των κύριων προβλημάτων των αγωγών και παρουσιάζει στοιχεία για την τεχνική χωρητικότητα των αγωγών, την αγορά αερίου και τις πολιτικές συνθήκες των εμπλεκόμενων χωρών.

Λόγω του διεθνικού χαρακτήρα που περιλαμβάνει η διαφοροποίηση των προμηθευτών (stakeholders), τα έργα αγωγών απαιτούν τη συνεργασία μεταξύ χωρών. Καθώς η αγορά αερίου στην Ευρώπη έχει πιο τοπικό χαρακτήρα είναι επιτακτική η ανάγκη βελτίωσης του δικτύου. Τα ενεργειακά δίκτυα πρέπει να διαδραματίζουν σημαντικότερο ρόλο στην ανάπτυξη της ενεργειακής πολιτικής και την εφαρμογή της. Βελτίωση επίσης χρειάζεται και η νομοθεσία που θα πρέπει προβλέπει μέσω διαδικασιών τον τρόπο αντίδρασης σε προβληματικές καταστάσεις. Για τη μείωση της σχέσης εξάρτησης με τη Ρωσία και τις ασταθείς χώρες, χρειάζεται να υπάρχει πλήθος διαφοροποιημένων προμηθευτών.

Ο **M. Bilgin** με την εργασία του **“Geopolitics of European natural gas demand: Supplies from Russia, Caspian and the Middle East”**²² εξετάζει ζητήματα που αφορούν την ευρωπαϊκή ενεργειακή ασφάλεια όσον αφορά το φυσικό αέριο. Επικεντρώνεται πρώτα σχετικά με την αυξανόμενη ζήτηση φυσικού αερίου στην Ευρώπη και ασχολείται με τυχόν κινδύνους που κρύβονται στην εξάρτηση από τη Ρωσία. Ένα γεγονός που εξετάζεται είναι η διαφωνία της Gazprom με την Ουκρανία, η οποία οδήγησε σε μια διεθνή κρίση του φυσικού αερίου τον Ιανουάριο του 2006, αλλά και πιο πρόσφατα, τον Ιανουάριο του 2009. Επίσης αναλύονται τα κίνητρα και τα εμπόδια στην τροφοδοσία της Ευρώπης με χώρες στην ευρύτερη περιοχή της Κασπίας όπως το Αζερμπαϊτζάν, το Καζακστάν και το Τουρκμενιστάν καθώς και της Μέσης Ανατολής όπως το Ιράν, το Ιράκ και την Αίγυπτο. Η γεωπολιτική ανάλυση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η καλύτερη στρατηγική είναι η Ευρώπη να περιλαμβάνει

τουλάχιστον δύο χώρες από το Αζερμπαϊτζάν, το Τουρκμενιστάν, το Ιράν και το Ιράκ στο πλαίσιο του συστήματος παροχής φυσικού αερίου.

Το άρθρο του **Philipp Offenberg** με τίτλο “ **The European neighborhood and the EU’s security of supply with natural gas**”²³ εξετάζει σημαντικά θέματα ενεργειακής ασφάλειας στην Ευρώπη. Η ENP (European Neighborhood Policy) αποτελεί βασικό άξονα της εξωτερικής ευρωπαϊκής πολιτικής. Στο πλαίσιο αυτό ιδιαίτερη σημασία δίνεται στον ενεργειακό εφοδιασμό με παράλληλη ικανοποίηση των στόχων σχετικά με την ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας της Ευρώπης. Η μεγαλύτερη ενεργειακή εξάρτηση της Ευρώπης εντοπίζεται στο φυσικό αέριο. Η Ευρώπη εισάγει το 70% του αερίου που καταναλώνει. Το 1/3 των εισαγωγών προέρχεται από τη Ρωσία, ενώ από την Αλγερία το 14%. Οι πόροι της Νορβηγίας, που αποτελούν το 1/3 των εισαγωγών μπορούν να θεωρηθούν μέρος των Ευρωπαϊκών πηγών σύμφωνα με τη συμφωνία της ΕΕΑ. Ενώ οι εισαγωγές από τις βόρειες και νότιες περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν βρίσκονται συχνά στο επίκεντρο της δημόσιας συζήτησης, η προμήθεια από την ανατολή τα τελευταία χρόνια έχουν προκαλέσει πληθώρα συζητήσεων για το θέμα της ενεργειακής ασφάλειας. Καθώς η εγχώρια παραγωγή υποχωρεί, στο μέλλον οι εισαγωγές θα αυξηθούν και συνεπώς αυτές οι νέες εισαγωγές θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σωστά.

Σύμφωνα με **διαφορετικά σενάρια από την IEA**, η ζήτηση φυσικού αερίου της ΕΕ αναμένεται να αυξηθεί ελαφρώς (Σενάριο Νέων Πολιτικών) ή ακόμη και έντονα (Σενάριο Τρεχουσών Πολιτικών) έως το 2035 ή το 2040. Ωστόσο, το Σενάριο 450 αντικατοπτρίζει την επίτευξη των κλιματικών στόχων της ΕΕ και προτείνει ισχυρή μείωση της ζήτησης φυσικού αερίου έως το 2040. Ενώ οι προβλέψεις της ζήτησης για φυσικό αέριο είναι αμφιλεγόμενες, είναι βέβαιο ότι η εγχώρια παραγωγή θα μειωθεί μαζικά μέχρι το 2040. Αυτό κάνει την ΕΕ να εξαρτάται ακόμη περισσότερο από τις εισαγωγές αερίου.

Η ρωσική εταιρεία Gazprom είναι νομικά υποχρεωμένη να παραδίδει φυσικό αέριο στην ΕΕ πέραν της δεκαετίας του 2020 και είναι σε θέση να αυξήσει την παραγωγή της για να αυξήσει τον όγκο των εξαγωγών. Η Gazprom φαίνεται να ευθυγραμμίζει την εμπορική της στρατηγική με τις νέες πραγματικότητες της αγοράς στην ΕΕ και πιθανότατα θα παραμείνει ένας από τους φθηνότερους προμηθευτές στην ευρωπαϊκή αγορά.

Η Ευρώπη επιδιώκει τρεις στόχους στον τομέα της ενέργειας: την μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, την επίτευξη χαμηλών τιμών ενέργειας και την ενεργειακή ασφάλεια. Η μεγαλύτερη πρόκληση σχετικά με τον εφοδιασμό του φυσικού αερίου είναι οι αγωγοί από τους εξωτερικούς προμηθευτές στα σημεία κατανάλωσης. Με τα τρία ενεργειακά πακέτα που διέπουν την αγορά ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου, η Ε.Ε από τα μέσα της δεκαετίας του '90 βασίστηκε κυρίως στην εσωτερική αγορά για την επίτευξη των στόχων ενεργειακής πολιτικής της. Ως

αντανάκλαση των εσωτερικών κανόνων της, η κύρια στρατηγική για την ασφαλή διακίνηση Φ.Α. εφαρμόζεται μέσω της Ενεργειακής Κοινότητας και την εφαρμογή κανονισμών της ΕΕ, όπως τον 994/2010.

Από την πολιτική και στρατιωτική σύγκρουση το 2014 στην Ουκρανία, η ΕΕ έθεσε επίσης τον πολιτικό στόχο να διατηρήσει την ουκρανική διαδρομή μεταφοράς ως ένα διάδρομο για τον εφοδιασμό από τη Ρωσία. Ωστόσο, από το 2006 η ουκρανική διαδρομή υπήρξε η μεγαλύτερη πρόκληση της ασφάλειας εφοδιασμού. Παρά τις προσπάθειές της για αποπολιτικοποίηση των ενεργειακών σχέσεων, η ΕΕ από την κρίση της Ουκρανίας για τη διαμετακόμιση φυσικού αερίου το 2006 επιδιώκει επίσης μια στρατηγική ενεργειακής ασφάλειας που λαμβάνει πολιτικές αποφάσεις σχετικά με τους προμηθευτές φυσικού αερίου και τις οδούς μεταφοράς. Συχνά υπάρχει σύγκρουση στόχων μεταξύ της προσέγγισης της εσωτερικής αγοράς και της πολιτικής προσέγγισης.

Η ΕΕ άνοιξε τον Νότιο Διάδρομο φυσικού αερίου για τη μεταφορά του από το Αζερμπαϊτζάν, μέσω της Γεωργίας και της Τουρκίας στην ΕΕ. Ωστόσο, και οι δύο χώρες διαμετακόμισης είναι απρόθυμες να γίνουν μέλη της Ενεργειακής Κοινότητας και συνεπώς οι όροι διέλευσης δεν συμμορφώνονται με τα πρότυπα της εσωτερικής αγοράς της ΕΕ.

Η ρωσική εταιρεία Gazprom και αρκετές ευρωπαϊκές εταιρείες φυσικού αερίου προσπαθούν να αποφύγουν τους κινδύνους διαμετακόμισης μέσω της Ουκρανίας προτείνοντας αγωγούς παράκαμψης ανοικτής θαλάσσης, όπως το Nord Stream, το South Stream, το Turkish Stream και πιο πρόσφατα το Nord Stream 2. Η ΕΕ εξακολουθεί να έχει διαφορετικά νομικά πλαίσια για τους υπεράκτιους αγωγούς από τρίτες χώρες προς την ΕΕ. Παρόλο που η ρύθμιση των αγωγών εξαγωγής της ανοικτής θάλασσας στη Νορβηγία καθορίζεται σε διμερή συμφωνία μεταξύ της Νορβηγίας και της ΕΕ, δεν υπάρχει αντίστοιχη συμφωνία μεταξύ της Ρωσίας και της ΕΕ. Δεδομένου ότι η Nord Stream 1 λειτουργεί χωρίς καμία διακυβερνητική συμφωνία, τίθεται το ερώτημα εάν η Ευρωπαϊκή Ένωση θα έχει ρητά νομικά μέσα για την πρόληψη της κατασκευής του Nord Stream 2. Οι εισαγωγείς της ΕΕ παραμένουν ακόμα δεσμευμένοι στη Ρωσία με μακροπρόθεσμες συμβάσεις εφοδιασμού μέχρι τα τέλη του 2020. Τα αποθέματα φυσικού αερίου της Νορβηγίας μειώνονται, οι εισαγωγές LNG συμβάλλουν στη διαφοροποίηση των πηγών φυσικού αερίου της ΕΕ, αλλά είναι ακόμη υπερβολικά δαπανηρές για να αποτελέσουν μια επιλογή μεγάλης κλίμακας διαφοροποίησης για την Κεντρική και την Ανατολική Ευρώπη.

Το ζήτημα των ιρανικών κυρώσεων και των ρυθμίσεων διαμετακόμισης του TANAP προκαλεί αβεβαιότητα όσον αφορά τις προμήθειες φυσικού αερίου μέσω της διαδρομής του Νότου. Με την πτώση των τιμών του φυσικού αερίου στην Ασία, η ευρωπαϊκή αγορά έχει γίνει ελκυστικότερη για τους προμηθευτές LNG. Το LNG δεν είναι ακόμη πιθανό να αντικαταστήσει τις ρωσικές εισαγωγές σε μεγάλη κλίμακα,

εκτός εάν οι ευρωπαίοι οικονομικοί και πολιτικοί φορείς λήψης αποφάσεων είναι διατεθειμένοι να καταβάλουν "πριμοδότηση ενεργειακής ασφάλειας" για να έχουν φθηνότερο αλλά πιο διαφοροποιημένο αέριο. Ωστόσο, ακόμη και οι χαμηλοί όγκοι LNG μπορούν να αυξήσουν τον ανταγωνισμό και να μειώσουν τις τιμές εισαγωγής ρωσικού αγωγού φυσικού αερίου στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη. Η επίτευξη αύξησης της ενεργειακής απόδοσης στους τομείς όπου καταναλώνεται φυσικό αέριο και στα κράτη μέλη της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης είναι ένας κρίσιμος τρόπος για να μειωθεί η εξάρτηση της ΕΕ από τις εισαγωγές φυσικού αερίου στη Ρωσία.

3 Βασικές Πηγές Ενέργειας

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε το Φυσικό Αέριο ως μία βασική πηγή ενέργειας. Θα αναφερθούμε απλά σε άλλες “ανταγωνιστικές” πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο, οι ΑΠΕ και δεν θα περιγράψουμε καθόλου την πυρηνική ενέργεια.

3.1 Άνθρακας

Σήμερα ο άνθρακας χρησιμοποιείται για την παραγωγή σχεδόν του 40% της ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο και θα συνεχίζει και στο μέλλον να κατέχει σημαντική θέση στον κόσμο της ενέργειας. Έχει χρησιμοποιηθεί για περισσότερο από έναν αιώνα, τροφοδοτώντας με ενέργεια τόσο την βιομηχανία και τη βιοτεχνία όσο και τις μεταφορές συμβάλλοντας στην οικονομική ανάπτυξη των βιομηχανικών χωρών. Οι γαιάνθρακες έχουν σχηματιστεί από δάση, τα οποία καταπλακώθηκαν από πετρώματα και υπέστησαν ενανθράκωση από το αναερόβιο βακτήριο του άνθρακα. Ανάλογα με το χρόνο παραμονής του καταπλακωμένου ξύλου στο φλοιό της Γης, σχηματίστηκαν οι διάφοροι τύποι γαιανθράκων, των οποίων η περιεκτικότητα σε άνθρακα ποικίλλει. Οι κυριότερες μορφές γαιανθράκων, κατατασσόμενοι από τους αρχαιότερους προς τους νεότερους, ως προς το σχηματισμό τους παρουσιάζονται παρακάτω. Ο γραφίτης, ο οποίος περιέχει 96-98% καθαρό άνθρακα. Ανήκει στην κατηγορία των μεταμορφωσιγενούς προελεύσεως ορυκτών, αν και η αρχική του μορφή οφείλει τη γένεσή της στα ίδια αίτια με τους υπόλοιπους. Είναι η μοναδική κρυσταλλική μορφή γαιάνθρακα (εξαγωνικό σύστημα). Είναι μαύρος, μαλακός, με μεταλλική λάμψη. Δεν χρησιμοποιείται ως καύσιμο, αλλά στην παραγωγή μολυβίων, μελανιών, σκόνης τόνερ σε ανάμιξη με έλαια ως λιπαντικό και ως επιβραδυντής νετρονίων στους ατομικούς αντιδραστήρες. Ο ανθρακίτης, που περιέχει 92-96% καθαρό άνθρακα, είναι σκληρός και λείος και έχει μαύρο χρώμα. Αφήνει ελάχιστο υπόλειμμα κατά την καύση του και χρησιμοποιείται κυρίως σε μεταλλουργικές εργασίες αλλά και ως καύσιμο σε ατμομηχανές, ατμοτουρμπίνες κτλ. Ο λιθάνθρακας που αποτελείται από 80-92% καθαρό άνθρακα, είναι μαύρος ή σκούρος καφέ, σκληρός και γυαλιστερός. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή φωταερίου με ξηρή απόσταξη και το υπόλειμμά του, που ονομάζεται κοκ, χρησιμοποιείται στη μεταλλουργία του σιδήρου και ως καύσιμο. Ο λιγνίτης, που περιέχει 50-65% καθαρό άνθρακα, έχει σκούρο καφέ χρώμα, δεν είναι γυαλιστερός και αφήνει σημαντικό υπόλειμμα κατά την καύση του. Χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας. Έχει τη μικρότερη περιεκτικότητα σε στοιχειώδη άνθρακα και την υψηλότερη ποσότητα υγρασίας. Είναι γεωλογικά νεότερος από τις άλλες μορφές ορυκτού άνθρακα. Τα εργοστάσια της ΔΕΗ στην Πτολεμαΐδα, τη Μεγαλόπολη και το Αλιβέρι στηρίζονται στον λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι η λιγότερο καθαρή μορφή άνθρακα. Για παράδειγμα χρειάζονται πέντε τόνοι λιγνίτη για να δώσουν ενέργεια ισοδύναμη με εκείνη ενός τόνου σκληρού άνθρακα. Η τύρφη

περιέχει κάτω από 50% καθαρό άνθρακα. Έχει καφετί χρώμα και η υφή του ξύλου είναι έντονα αποτυπωμένη επάνω της. Δεν χρησιμοποιείται ως καύσιμο, αλλά ως συστατικό εμπλουτισμού καλλιεργήσιμων εδαφών. Μεγάλα κοιτάσματα τύρφης στον Ελλαδικό χώρο υπάρχουν στην Καβάλα. Υπάρχουν και πολλοί ενδιάμεσοι τύποι γαιανθράκων, οι οποίοι παίρνουν το όνομά τους ανάλογα με τη χρήση τους (fat coal, gas coal, forge coal κτλ).

Η ποιότητα του ορυκτού άνθρακα εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε άνθρακα, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από τις θερμοκρασίες και τις πιέσεις κάτω από τις οποίες σχηματίστηκε. Η θερμαντική του αξία κυμαίνεται από 16.7 έως 29.3 MJ / kg και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό τη σύνθεση της (περιεκτικότητα σε τέφρα, θείο, υγρασία). Η θερμιδική αξία του καθαρού άνθρακα είναι περίπου 33.2 MJ / kg. Ο άνθρακας είναι μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Χωρίζεται σε κατηγορίες ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά, την τεχνολογική σημασία του, όπως ορίζεται από τους ακόλουθους δείκτες:

- το περιεχόμενο των πτητικών υλών σε άνθρακα από την άποψη της ουσίας χωρίς τέφρα
- ικανότητα συσσωμάτωσης
- διάταξη
- θερμότητα της καύσης του άνθρακα ως προς την ουσία

Τρόποι εξόρυξης του άνθρακα

Υπάρχουν δύο τρόποι εξόρυξης γαιανθράκων, ανάλογα με το βάθος στο οποίο απαντάται το κοιτάσμα: μέσω επιφανειακής εξόρυξης και μέσω ανθρακωρυχείων. Ο πρώτος τρόπος επίσης αποκαλείται και εξόρυξη βουνοκορφής ή εξόρυξη λωρίδας. Γίνεται με τη βοήθεια κλασικών σκαπτικών μηχανημάτων, είτε για να απομακρυνθεί απλά το επιφανειακό λεπτό στρώμα ασύνδετων υλικών που καλύπτουν το κοιτάσμα, είτε για την απευθείας εκσκαφή του κοιτάσματος. Είναι ένας οικονομικός τρόπος εξόρυξης, αλλά συνήθως χρησιμοποιείται όταν ανιχνεύονται φλέβες άνθρακα κοντά στην επιφάνεια της γης. Είναι φτηνότερη από την υπόγεια εξόρυξη και μπορεί να ισχυριστεί κανείς ότι είναι και αποδοτικότερη, με την έννοια ότι το ποσοστό ανάκτησης του άνθρακα ανέρχεται στο 90%. Παγκοσμίως περίπου το 40% των ανθρακωρυχείων είναι επιφανειακά και σε μερικές χώρες το ποσοστό αυτό είναι πολύ υψηλότερο. Για παράδειγμα τα επιφανειακά ορυχεία αποτελούν το 80% των ορυχείων στην Αυστραλία και το 67% στις ΗΠΑ. Αυτή η μέθοδος εξόρυξης οδηγεί σε αποδάσωση, διάβρωση, καθιζήσεις, πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και καταστροφή γεωργικής γης. Κατά την επιφανειακή εξόρυξη αφενός δημιουργούνται τεράστιες τρύπες και αφετέρου συσσωρεύονται εκατομμύρια τόνοι χώματος με μορφή λόφων καταστρέφοντας το τοπίο και δημιουργώντας αισθητική

άλλα και σωματιδιακή ρύπανση. Στις περιπτώσεις που το κοίτασμα βρίσκεται σε βάθος, απαιτείται η διάνοιξη στοών για την εξόρυξη των γαιανθράκων, δηλαδή σχηματισμός ανθρακωρυχείου. Αρχικά διανοίγεται ένα κατακόρυφο φρέαρ, από το οποίο ξεκινούν παράλληλες, οριζόντιες στοές, από τις οποίες εξορύσσονται οι γαιάνθρακες. Τα περισσότερα ευρωπαϊκά κοιτάσματα, ιδιαίτερα των λιθανθράκων και των ανθρακίτων, είναι υπόγεια και απαιτούν την κατασκευή ανθρακωρυχείων για την εξόρυξή τους. Η εργασία είναι δαπανηρή αλλά και επικίνδυνη, λόγω διαρροής αερίων (αναφλέξιμων ή δηλητηριωδών) στις στοές. Συχνή είναι επίσης, η πτώση των τοιχωμάτων των στοών (παρά το ότι κατασκευάζονται κατάλληλα υποστυλώματα), λόγω διαβρώσεων.

Μεταφορά και καύση του άνθρακα

Για ένα σταθμό η απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου είναι περισσότερη όταν η ποιότητα του καυσίμου είναι πτωχότερη. Προκειμένου να μειωθούν τα κόστη που σχετίζονται με τη μεταφορά τους, συνήθως ο σταθμός να βρίσκεται κοντά στην πηγή πρωτογενούς ενέργειας (σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής στο στόμιο του ορυχείου, ιδιαίτερα για τα καύσιμα με χαμηλό ενεργειακό δυναμικό όπως ο άνθρακας). Εάν ο σταθμός δε βρίσκεται στο στόμιο του ορυχείου, η μεταφορά του καυσίμου μπορεί να γίνει είτε με σιδηρόδρομο είτε μέσω πλοίων. Εάν η μονάδα βρίσκεται κοντά στο στόμιο του ορυχείου, η μεταφορά γίνεται με ταινιόδρομους είτε υδραυλικά μέσω σωλήνων, όπου αναμειγνύεται με νερό ώστε να σχηματιστεί ιλύς με αναλογία 1/1. Πριν από τη χρήση του ο άνθρακας ζυγίζεται, εκφορτώνεται, θρυμματίζεται και αποθηκεύεται. Εάν είναι απαραίτητο ξηραίνεται χρησιμοποιώντας τα καυσαέρια από τον ατμοπαραγωγό (γεννήτρια ατμού), ατμό ή θερμό νερό. Εντός του σταθμού, ο άνθρακας μεταφέρεται με τη βοήθεια ταινιόδρομων, όπου επίσης ζυγίζεται, χωρίζεται από μεταλλικά αντικείμενα με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητών και στη συνέχεια αλέθεται σε πολύ μικρά κομμάτια. Ο άνθρακας καίγεται στον ατμοπαραγωγό χρησιμοποιώντας εν γένει καυστήρες αλλά και άλλες τεχνολογίες καύσης που μειώνουν τις εκπομπές ΝΟx.

Τιμές άνθρακα

Οι τιμές άνθρακα βρίσκονται ιστορικά σε χαμηλότερα επίπεδα και είναι πιο σταθερές από ότι οι τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Ο άνθρακας είναι πιθανό να παραμείνει το πιο προσιτό καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές αναπτυσσόμενες και βιομηχανικές χώρες για δεκαετίες. Οι υψηλές τιμές μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος και σε ακραίες περιπτώσεις, συνολική απώλεια της βιομηχανίας. Οι χώρες με πρόσβαση σε εγχώριες πηγές ενέργειας, ή σε οικονομικά προσιτά καύσιμα από μία καλά εφοδιασμένη παγκόσμια αγορά, μπορεί να αποφύγουν πολλές από αυτές τις αρνητικές επιπτώσεις, επιτρέποντας την περαιτέρω οικονομική τους ανάπτυξη.

Ο άνθρακας μεταφέρεται σε όλο τον κόσμο, διανύονται τεράστιες αποστάσεις από τη θάλασσα για να φτάσουν στις αγορές. Συνολικά το διεθνές εμπόριο άνθρακα έφθασε 1383Mt το 2014. Ενώ αυτό είναι μία σημαντική ποσότητα άνθρακα, αντιπροσωπεύει περίπου μόνο το 25% του συνολικού άνθρακα που καταναλώνεται. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται στην χώρα στην οποία παράγεται γιατί τα έξοδα μεταφοράς αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο μερίδιο της τελικής τιμής του άνθρακα.

Μελλοντικές τάσεις ζήτησης του άνθρακα

Η έκταση και η αυστηρότητα των μέτρων για το περιβάλλον και την κλιματική αλλαγή που θα τεθούν σε εφαρμογή τα επόμενα χρόνια θα είναι ο βασικός παράγοντας που θα καθορίσει την πορεία του κλάδου του άνθρακα έως το 2035, σύμφωνα με το World Energy Outlook 2013 [24]. Έχουν δημιουργηθεί τρία σενάρια όσον αφορά τη ζήτηση του καυσίμου που διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Το κεντρικό σενάριο της έκθεσης είναι το "New Policies Scenario". Αυτό το σενάριο λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τις ενεργειακές και περιβαλλοντικές πολιτικές των διαφόρων χωρών που είχαν τεθεί σε εφαρμογή έως τα μέσα του 2013, αλλά συνυπολογίζει και τις δράσεις τις οποίες οι χώρες έχουν δεσμευθεί ότι θα εφαρμόσουν. Στο "Current Policies Scenario" λαμβάνονται υπόψη μόνο εκείνες οι πολιτικές και τα μέτρα που βρίσκονται ήδη σε εφαρμογή. Τέλος, το σενάριο "450" περιλαμβάνει όλες εκείνες τις συνθήκες που απαιτούνται, για να εισέλθει ο παγκόσμιος ενεργειακός τομέας σε μία τροχιά τέτοια ώστε μακροπρόθεσμα, η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας να περιοριστεί στους 2°C.

Βάσει του κεντρικού σεναρίου, η χρήση του άνθρακα σε παγκόσμιο επίπεδο αναμένεται να καταγράψει οριακή αύξηση έως το 2035, με τις χώρες εντός ΟΟΣΑ να περιορίζουν σημαντικά την κατανάλωση του καυσίμου (ειδικά στην περίπτωση της Ευρωπαϊκής Ένωσης η ανάπτυξη των ΑΠΕ και τα μέτρα για την κλιματική αλλαγή οδηγούν σε ταχεία πτώση της κατανάλωσης άνθρακα) και τις χώρες εκτός ΟΟΣΑ (και κυρίως Κίνα και Ινδία) να την ενισχύουν. Σύμφωνα με την IEA, ο άνθρακας θα παραμείνει το βασικό καύσιμο ηλεκτροπαραγωγής, παρόλο που το μερίδιό του θα μειωθεί κατά 8%.

Βάσει των δύο εκ των τριών σεναρίων της έκθεσης, και συγκεκριμένα του "New Policies Scenario" και του "Current Policies Scenario", η ζήτηση άνθρακα έως το 2035 αναμένεται να καταγράψει αύξηση ενώ, αντιθέτως, στο σενάριο "450", το οποίο περιλαμβάνει και τις πιο περιβαλλοντικά φιλικές υποθέσεις, η ζήτηση καταγράφει πτώση. Όσον αφορά τη ζήτηση ανά περιοχή, στο σενάριο Νέων Πολιτικών, στις χώρες του ΟΟΣΑ, η ζήτηση πέφτει κατά ¼ έως το 2035 ενώ αντιθέτως στις χώρες εκτός ΟΟΣΑ η ζήτηση ενισχύεται κατά το ένα τρίτο, κυρίως σε Ινδία, Κίνα και Νοτιοανατολική Ασία.

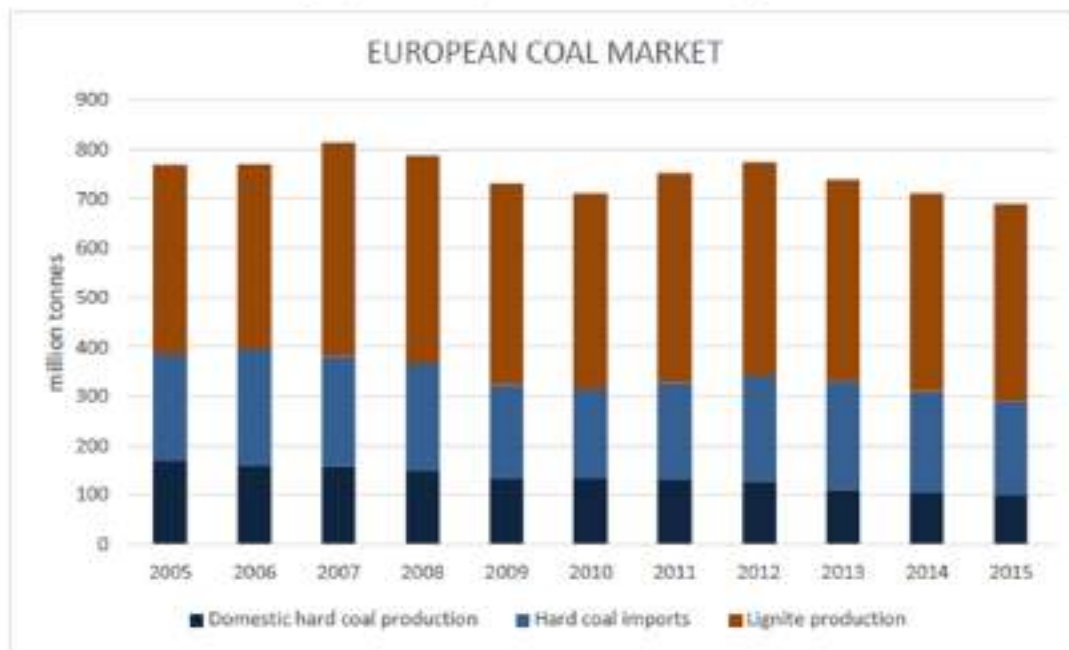
Στην περίπτωση της Ευρώπης, η πτώση της κατανάλωσης είναι ιδιαίτερα έντονη: το 2035, η χρήση άνθρακα θα ανέρχεται στο 57% της αντίστοιχης του 2011, κατέχοντας μερίδιο μόλις 11% στην ηλεκτροπαραγωγή των ευρωπαϊκών χωρών εντός ΟΟΣΑ, έναντι μεριδίου 25% που κατέχει σήμερα. Αυτό οφείλεται κατά βάση αφενός στην ανάπτυξη των ΑΠΕ και αφετέρου στην απόσυρση παλιών μονάδων άνθρακα με ρυθμό μεγαλύτερο από αυτόν της εγκατάστασης νέων μονάδων.

Ο τομέας της ενέργειας, και ειδικότερα της ηλεκτροπαραγωγής, παραμένει έως το 2035 ο βασικός κλάδος κατανάλωσης άνθρακα. Σημειώνεται ότι στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, ο άνθρακας, συνεχίζει να αποτελεί το κορυφαίο καύσιμο, παρόλο που το μερίδιό του θα πέσει από το 41% στο 35%.

Το 2035, η ΙΕΑ προβλέπει, ότι το 63% της παγκόσμιας χρήσης άνθρακα θα αφορά στον τομέα της ενέργειας. Ωστόσο, εν αντιθέσει με τη σχετικά ταχεία αύξηση της ζήτησης του άνθρακα για ηλεκτροπαραγωγή που καταγράφηκε το διάστημα 1990 – 2011 (αύξηση από το 55% στο 63%), το διάστημα 2011–2035, ναι μεν θα καταγραφεί αύξηση, με χαμηλότερους ρυθμούς δε. Και αυτό εξαιτίας της σχετικής εξισορρόπησης που θα επέλθει μεταξύ της ταχείας μείωσης της χρήσης άνθρακα για ηλεκτροπαραγωγή σε χώρες του ΟΟΣΑ και της συνεχούς αύξησης της χρήσης του καυσίμου σε χώρες εκτός ΟΟΣΑ.

Ο άνθρακας, παρά την τεράστια ανάπτυξη κοιτασμάτων φυσικού αερίου, παραμένει το καύσιμο με τη μεγαλύτερη αφθονία παγκοσμίως ενώ τα διαθέσιμα αποθέματα είναι σε θέση να καλύψουν τη ζήτηση για τις επόμενες δεκαετίες, σύμφωνα με την ΙΕΑ. Στο τέλος του 2011, τα αποδεδειγμένα αποθέματα άνθρακα έφταναν τους 1.040 δις τόνους.

Όσον αφορά το εμπόριο άνθρακα μεταξύ των περιφερειακών αγορών, θα καταγράφει αύξηση στις διακινούμενες ποσότητες από 900 Mtoe το 2011 σε 1.150 Mtoe το 2020. Το 2035 θα φτάσει τους 1.260 Mtoe.



Σχήμα 4: Η αγορά του άνθρακα στην Ευρώπη.²⁵

Η ευρωπαϊκή αγορά άνθρακα συνέχισε να μειώνεται από το 2012 λόγω των χαμηλών τιμών χονδρικής της ηλεκτρικής ενέργειας, της απώλειας του μεριδίου αγοράς των επιδοτούμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την πίεση από τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς, καθώς και λόγω της έλλειψης χρηματοδότησης νέων δημόσιων και ιδιωτικών έργων.

Συμβόλαια Άνθρακα

Τα συμβόλαια άνθρακα συνήθως χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα συμβόλαια spot (μονή αποστολή) και στα συμβόλαια διαρκείας (πολλαπλές αποστολές). Τα μακροπρόθεσμα συμβόλαια δεν μπορούν να οριστούν με ακρίβεια. Με εξαίρεση τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκονται δίπλα στο ορυχείο, οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις άνθρακα είναι λιγότερο συχνές στην αγορά του Ατλαντικού, αλλά συγκεντρώνουν αυξανόμενο ενδιαφέρον στην αγορά του Ειρηνικού. Ομοίως, στις ΗΠΑ, σε ορισμένες βιομηχανίες παρατηρείται μια μετατόπιση από μακροπρόθεσμες συμβάσεις σε βραχυπρόθεσμες.

Το 2014, η Επιτροπή Εθνικής Ανάπτυξης και Μεταρρύθμισης ανακοίνωσε κατευθυντήριες οδηγίες για τους ανθρακωρύχους και επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να συμφωνήσουν με μακροπρόθεσμες συμβάσεις. Αυτό θα οδηγούσε σε απομάκρυνση από την παραδοσιακή διαδικασία των ετήσιων διαπραγματεύσεων και τα ετήσια συμβόλαια και να υποκινήσει μια σημαντική αλλαγή στη μεγαλύτερη αγορά του άνθρακα στον κόσμο. Η κατάσταση στην Κίνα βρίσκεται σε έντονη αντιπαράθεση με την Ευρώπη, όπου οι αγορές λιθάνθρακα για τις βρετανικές και

γερμανικές επιχειρήσεις κοινής ωφελείας συμφώνησαν σχεδόν εξ ολοκλήρου με συμβάσεις spot.

Ωστόσο, διαπιστώθηκε πως μια σειρά από χώρες και εταιρείες που δραστηριοποιούνται σε όλο τον κόσμο, κάνουν χρήση των μακροπρόθεσμων συμβάσεων σε ποικίλους βαθμούς. Σε αυτές περιλαμβάνονται: η Τσεχική Δημοκρατία, η Ινδία, η Ινδονησία, η Ιαπωνία, η Κορέα, η Μαλαισία, η Νότια Αφρική και οι ΗΠΑ.

Σε συμφωνίες προμήθειας με σταθμούς παραγωγής που βρίσκονται δίπλα στο ορυχείο μπορεί να μην απαιτείται το ίδιο επίπεδο λεπτομερειών συμβολαίου λόγω της μικρότερης εφοδιαστικής αλυσίδας. Για μεγαλύτερες αποστάσεις, ένας προμηθευτής με εμπειρία στη μεταφορά εμπορευμάτων και το χειρισμό μπορεί να προβλέπεται στη σύμβαση μαζί με ένα πακέτο αυστηρότερων ελέγχων ώστε να διασφαλιστεί ότι η παράδοση θα είναι άμεση και μέσα στα προκαθορισμένα πρότυπα.

Ανεξάρτητα από την πολυπλοκότητα της σύμβασης, τα συμβόλαια διαρκείας προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των συμβολαίων spot, ειδικά για τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν με φορτίο βάσης. Μάλλον οι κύριοι λόγοι για την υιοθέτηση αυτού του είδους συμφωνιών είναι η βεβαιότητα όσον αφορά τον όγκο του άνθρακα με την σωστή ποιότητα και καλύτερη δυνατότητα πρόβλεψης των τιμών, είτε αυτή είναι προσανατολισμένη σε ένα σταθερό ή σε μεταβλητό τύπο. Ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμός γίνεται πιο εύκολος, επιτρέποντας στους παραγωγούς (και τους τελικούς χρήστες) να σχεδιάσουν εξελίξεις και τις επενδύσεις στο ορυχείο και τις αναβαθμίσεις του εξοπλισμού, τον σχεδιασμό των μεθόδων και της χωροταξίας. Επίσης, παρέχει κίνητρα εξεύρεσης μελλοντικών πόρων όταν οι μακροπρόθεσμες ποσότητες συνδυάζονται με μακροπρόθεσμες τιμές.

Από την άλλη πλευρά, εάν η συμφωνία εξασφαλίζει το μεταφερόμενο όγκο μακροπρόθεσμα, οι αποκλίσεις σε μηνιαία ή τριμηνιαία βάση είναι αναπόφευκτες. Παρά τη φαινομενικά κλειδωμένη φύση μιας μακροπρόθεσμης συμφωνίας, η ευελιξία σε αυτές τις συμβάσεις είναι σε θέση να επιτρέψει στον αγοραστή να λάβει περισσότερο όγκο σε ορισμένες περιόδους και ίσως λιγότερο σε άλλες.

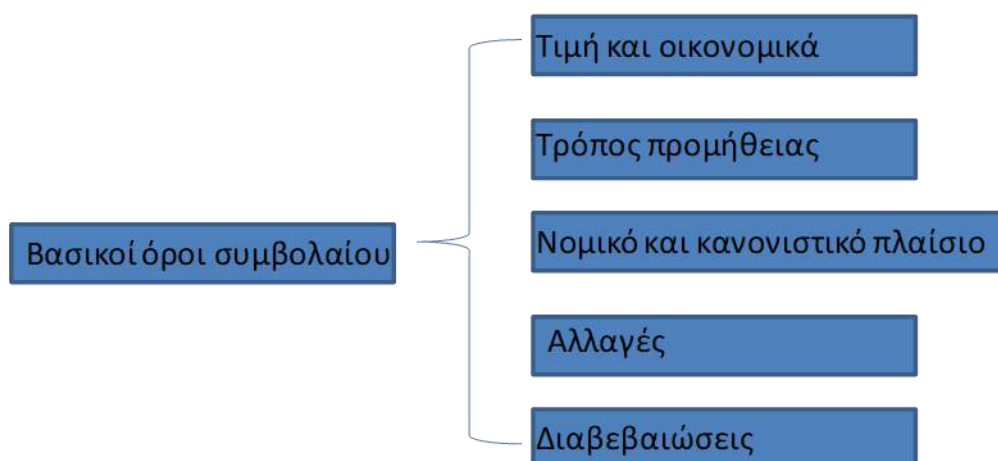
Η τιμολόγηση είναι μια σημαντική πτυχή της κάθε σύμβασης άνθρακα. Οι συνθήκες της αγοράς μπορούν να μεταβάλλουν τις τιμές ανά ώρα, αλλά τα μακροπρόθεσμα συμβόλαια σταθεροποιούν τις τιμές, αλλά με ποικίλες διακυμάνσεις, ανάλογα με τον τύπο διαμόρφωσης των τιμών. Οι συμφωνίες για τις τιμές είναι συχνά απαραίτητες για έναν νέο και ανεξάρτητο παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας. Για τα περισσότερα συμβόλαια διαρκείας, η επαναδιαπραγμάτευση τιμών μπορεί να συμβεί σε ετήσια βάση ή ανά τριετία, μειώνοντας την ανάγκη επανάληψης της διαδικασίας υποβολής

προσφορών, αλλά εξασφαλίζεται ότι και τα δύο μέρη γνωρίζουν τις τρέχουσες συνθήκες της αγοράς.

Οι μακροπρόθεσμες συμφωνίες μπορεί να οδηγήσουν σε στρατηγικά επιχειρηματικά συμφέροντα και συνεργασίες που συμφέρουν τόσο τους αγοραστές όσο και τους πωλητές. Και τα δύο μέρη μπορούν να ωφεληθούν αν κάποιος κατέχει μέρος ή το σύνολο των στοιχείων του ενεργητικού του άλλου. Οι πωλητές μπορούν επίσης να συνάπτουν στρατηγικές μακροπρόθεσμες συμβάσεις με τις σιδηροδρομικές γραμμές και τα λιμάνια, για να εξασφαλιστεί η συνέχεια της αλυσίδας εφοδιασμού για πολλά χρόνια, προσφέροντας στους αγοραστές την ασφάλεια ότι ο παραγωγός έχει πρόσβαση σε επαρκή χωρητικότητα ώστε παραδώσει τον άνθρακα όταν χρειάζεται.

Ενώ η τιμή, ο όγκος και η ποιότητα είναι τα κύρια κριτήρια για οποιαδήποτε συμφωνία, μια σειρά από διαβεβαιώσεις πρέπει να γίνει και από τα δύο μέρη, η οποία θα συμπεριληφθεί στους όρους και τις προϋποθέσεις των περισσότερων συμβάσεων. Το χρονοδιάγραμμα της παράδοσης, η πληρωμή και η επικοινωνία μεταξύ των μερών είναι συνήθως ορισμένο. Άλλες βοηθητικές υπηρεσίες, όπως η δειγματοληψία και ο έλεγχος του όγκου σε ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα είναι κοινή για τις διεθνείς αποστολές.

Συνοπτικά, κάτω από ορισμένες συνθήκες οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις χρησιμεύουν ως ένα συχνά απαραίτητο εργαλείο για την προμήθεια άνθρακα. Η ευελιξία που μπορεί να οικοδομηθεί από άποψη όγκου, τιμής και ποιότητας παρέχει παράλληλα μεγαλύτερη ασφάλεια στην μακροπρόθεσμη λειτουργία ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.²⁶



Σχήμα 5: Βασικοί όροι συμβολαίων άνθρακα.²⁵

3.2 Πετρέλαιο

Το πετρέλαιο αποτελεί ίσως την σπουδαιότερη φυσική πηγή ενέργειας στη σύγχρονη εποχή. Είναι ένα ορυκτό που λειτουργεί ως βάση της παγκόσμιας οικονομίας και κατατάσσεται στις κύριες πρωτογενείς πηγές ενέργειας. Αποτελεί την πρώτη ύλη από την οποία παράγεται ένας τεράστιος αριθμός προϊόντων (πλαστικά, φάρμακα, καλλυντικά, απορρυπαντικά, φιλμ. μαγνητοταινίες, εκρηκτικά κλπ.)

Φυσικές Ιδιότητες

Οι φυσικές ιδιότητες του πετρελαίου εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων είναι η προέλευση του οργανικού υλικού και οι επιδράσεις που δέχτηκε κατά τη διάρκεια της γεωλογικής του ιστορίας. Με τη σειρά τους οι ιδιότητες αυτές επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις παραμέτρους της μετανάστευσης και παγίδευσης του ρευστού. Το πετρέλαιο είναι υγρό, ελαιώδες ή παχύρευστο, καστανού χρώματος, χαρακτηριστικής δυσάρεστης οσμής, αδιάλυτο στο νερό και ελαφρύτερο από αυτό. Έχει πυκνότητα από 0.73 gr/cm³ έως 1.04 gr/cm³ και η θερμαντική του ικανότητα φτάνει τα 10.400 kcal/gr – 11.000 kcal/gr.

Το πετρελαίου αποτελείται κυρίως από ενώσεις άνθρακα και υδρογόνου (υδρογονάνθρακες) και ετεροσυστατικά. Οι υδρογονάνθρακες μπορεί να είναι σε μορφή αέρια, υγρή ή στερεή ανάλογα την πολυπλοκότητα των μορίων τους και των συνθηκών (πίεσης και θερμοκρασίας) που υφίστανται και διακρίνονται στις τρεις ακόλουθες ομάδες συνθετικών :

- Κορεσμένοι υδρογονάνθρακες (δομή ευθείας ή διακλαδισμένης αλυσίδας του τύπου C_nH_{2n+2})
- Ναφθένια (με δομή κορεσμένου κλειστού δακτυλίου της πολυμεθυλικής σειράς του τύπου C_nH_{2n})
- Αρωματικοί ακόρεστοι υδρογονάνθρακες (με δομή κλειστού δακτυλίου του τύπου C_nH_{2n-6})

Στη σύσταση του πετρελαίου συμμετέχουν χιλιάδες ισομερείς ενώσεις διακλαδισμένων αλκανίων αλλά και ναφθενικών και αρωματικών με πλευρικές αλυσίδες αλκανίων. Εκτός απ' αυτά, όπως προαναφέρθηκε, το πετρέλαιο περιέχει και ετεροσυστατικά. Ετεροσυστατικά είναι οι ενώσεις του πετρελαίου, οι οποίες περιέχουν στο μόριό τους άτομα στοιχείων επιπλέον του άνθρακα και του υδρογόνου. Τα κυριότερα από αυτά είναι το θείο (ίχνη έως 5% κ.β.), το άζωτο (κάτω του 1% κ.β.) και το οξυγόνο (έως 2% κ.β.). Σε μικρότερες συγκεντρώσεις στο πετρέλαιο ανιχνεύονται και οργανομεταλλικές ενώσεις κοβαλτίου (1.01-0.12 ppm), νικελίου (3.0-120.0 ppm), χαλκού (0.10-0.12 ppm), κ.α.

Κοιτάσματα Πετρελαίου

Ο σχηματισμός κοιτασμάτων είναι η συγκέντρωση άπειρου αριθμού σταγονιδίων πετρελαίου που σχηματίζονται στα μητρικά πετρώματα και στη συνέχεια απομακρύνονται από αυτά σε οικονομικά αξιοποιήσιμες συσσωρεύσεις. Ο σχηματισμός κοιτασμάτων είναι το αποτέλεσμα της μετανάστευσης του πετρελαίου. Τα σωματίδια του πετρελαίου μεταναστεύουν από τα αργιλικά μητρικά πετρώματα σε πορώδη ταμιευτήρια πετρώματα που βρίσκονται συνήθως σε υψηλότερο επίπεδο (χαμηλότερο βάθος). Κατά τη διάρκεια αυτής της μετανάστευσης πραγματοποιείται σημαντική κλασμάτωση του αργού πετρελαίου ως αποτέλεσμα εκλεκτικής διήθησης, προσρόφησης και συμπύκνωσης.²⁷

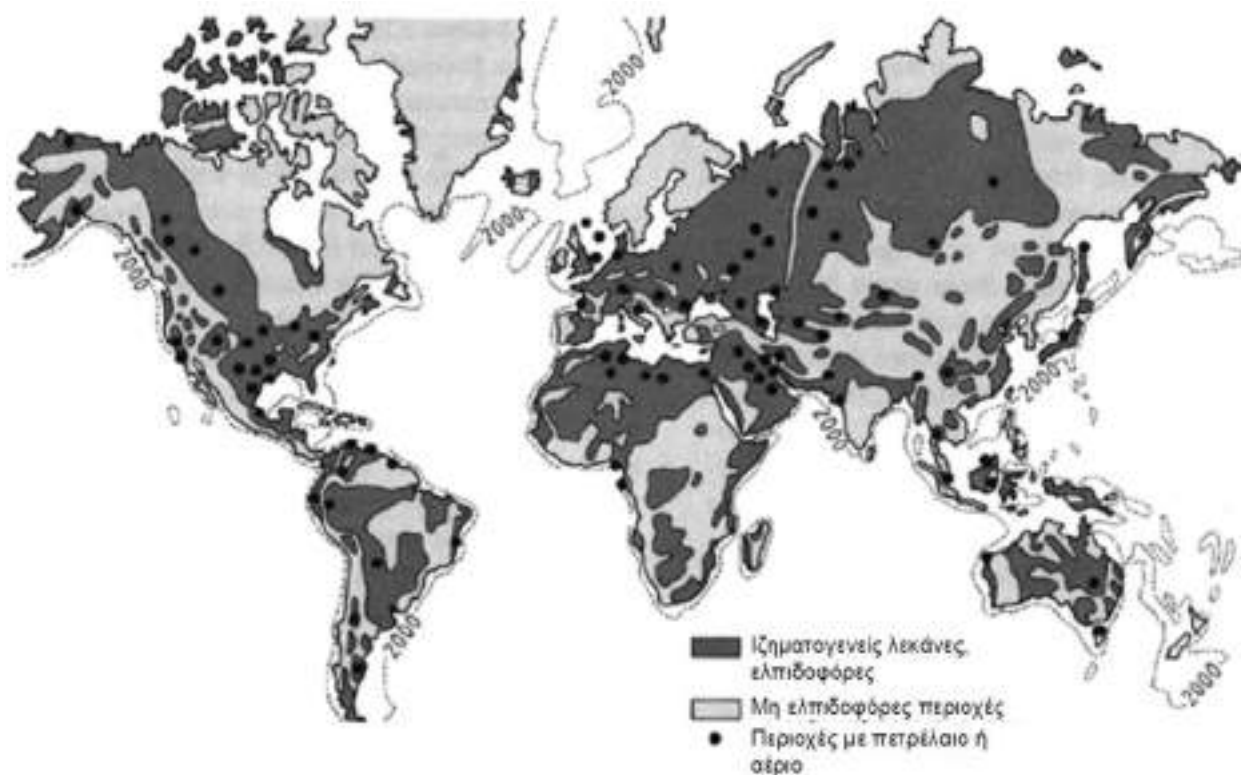
Η ποιότητα των αποθεμάτων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των ταμιευτήριων πετρωμάτων. Τα καλά τα ταμιευτήρια πετρώματα έχουν υψηλό πορώδες, άρα μπορούν να χωρέσουν σημαντική ποσότητα υδρογονανθράκων. Τέτοιου είδους πετρώματα είναι κυρίως αμμώδη πετρώματα όπως ξηρή άμμος (wind-blown sand), ποταμίσια άμμος (fluvial sands), προσχωματικές αποθέσεις (alluvial fans), άμμοι θαλάσσης (beach and barrier sand), άμμοι πυθμένα θαλασσών (marine platform sands) και άμμοι βαθιάς θάλασσας (deep-water sands).

Τα ανθρακικά ταμιευτήρια στρώματα μπορεί να είναι πολύ διαφορετικής ποιότητας. Έτσι ύφαλοι (reefs) ή ασβεστολιθικοί ύφαλοι (reef limestone debris) μπορούν να έχουν άριστες ταμιευτήρες ιδιότητες, αλλά κυρίως είναι μειωμένης έκτασης και μεταβλητής ποιότητας. Οι σχηματισμοί κιμωλίας (chalk) έχουν μέτρια ποιότητα ως ταμιευτήρια πετρώματα. Λόγω της χαμηλής τους διαπερατότητας, αυτά τα κοιτάσματα μπορεί να είναι οικονομικά αξιοποιήσιμα μόνο σε συνδυασμό με πολύ λεπτές ρηγματώσεις.²⁷

Η ύπαρξη πετρελαίου είναι συνδυασμένη με τις ιζηματογενείς λεκάνες της γης. Η κατανομή τους δεν ακολουθεί καμία στατιστική. Ακόμη και η τεκτονική τους κατάταξη είναι πολύ διαφορετική και δείχνει ότι ο σχηματισμός ιζημάτων δε σχετίζεται με ειδικούς τύπους λεκανών μόνο. Οι μεγαλύτερες ποσότητες πετρελαίου βρίσκονται σε λεκάνες που έχουν υποστεί καταβύθιση, ως αποτέλεσμα κίνησης τεκτονικών πλακών - από το Ιουρασικό έως το Μέσο Τριαδικό- όπου λόγω της έλλειψης επαφής με πλούσια σε οξυγόνο νερά και υπό την επίδραση κατάλληλης (σχετικά υψηλής) θερμοκρασίας και ύπαρξης αναγωγικών συνθηκών υπήρξε μετασχηματισμός της οργανικής ύλης. Τα κοιτάσματα σε παλαιότερους γεωλογικούς σχηματισμούς είναι σχετικά μικρά, μάλλον λόγω της χαμηλής ποσότητας οργανικής ύλης που ήταν διαθέσιμη εκείνες τις εποχές. Αλλά τα μικρότερα κοιτάσματα σε σχηματισμούς παλαιότερους από αυτούς του Μεσοζωικού αιώνα, μπορεί να είναι το αποτέλεσμα θερμικής εξέλιξης (μετατροπή του πετρελαίου σε Αέριο), της καταστροφής των ταμιευτήριων ή της έμφραξής τους από τεκτονικές κινήσεις ή διάβρωσης. Οι προσοδοφόρες ιζηματογενείς λεκάνες είναι κατανεμημένες τόσο στην

ξηρά όσο και στη θάλασσα (βλ. Χάρτη). Οι μέθοδοι έρευνας και ανάπτυξης είναι οι ίδιες, με τη μεγάλη διαφορά να βρίσκεται στο κόστος διάνοιξης του φρέατος και τοποθέτησης της εγκατάστασης εκμετάλλευσης στην περίπτωση των υποθαλάσσιων κοιτασμάτων.

Πέρα από τα κλασικά υποθαλάσσια πεδία όπως του Maracaibo (Βενεζουέλα) και του Baku (Κασπία Θάλασσα) που ήταν ήδη γνωστά και υπό εκμετάλλευση με τροποποιημένες χερσαίες εγκαταστάσεις από τη δεκαετία του '30, η υποθαλάσσια έρευνα και εκμετάλλευση απέκτησε αυξημένη σημασία από τη δεκαετία του '60 και μετά. Τότε έγινε τεχνικά δυνατή η αξιοποίηση κοιτασμάτων σε βάθη θαλασσών μεγαλύτερα από 1000 m. Το 1983, στη δυτική ακτή της Γαλλίας έγινε διάνοιξη φρέατος σε βάθος βυθού 1714 m. Σε τέτοια βάθη υπάρχουν δυσκολίες στην παραγωγή και ο εξοπλισμός θα πρέπει να τοποθετηθεί στην επιφάνεια του βυθού και να συντηρείται από δύτες. Το βαθύτερο παραγωγικό πεδίο είναι το Joliet στον Κόλπο του Μεξικού, με εξέδρα εξόρυξης πάνω από βυθό βάθους 535 m. Το 1992 εγκαταστάθηκε πλωτή εξέδρα στο Πεδίο Snorre της νορβηγικής Βορείου Θάλασσας σε βάθος βυθού 350m. Τα μεγαλύτερα βάθη στα οποία γίνεται εγκατάσταση πλωτής εξέδρας είναι στα 1.000 μέτρα περίπου (πεδία Auger και Marlin). Λόγω του μεγάλου κόστους επένδυσης, η συστηματική εκμετάλλευση των υποθαλάσσιων κοιτασμάτων σε βαθιά νερά εξαρτάται από τη διαμόρφωση των τιμών του αργού πετρελαίου στην αγορά.²⁷

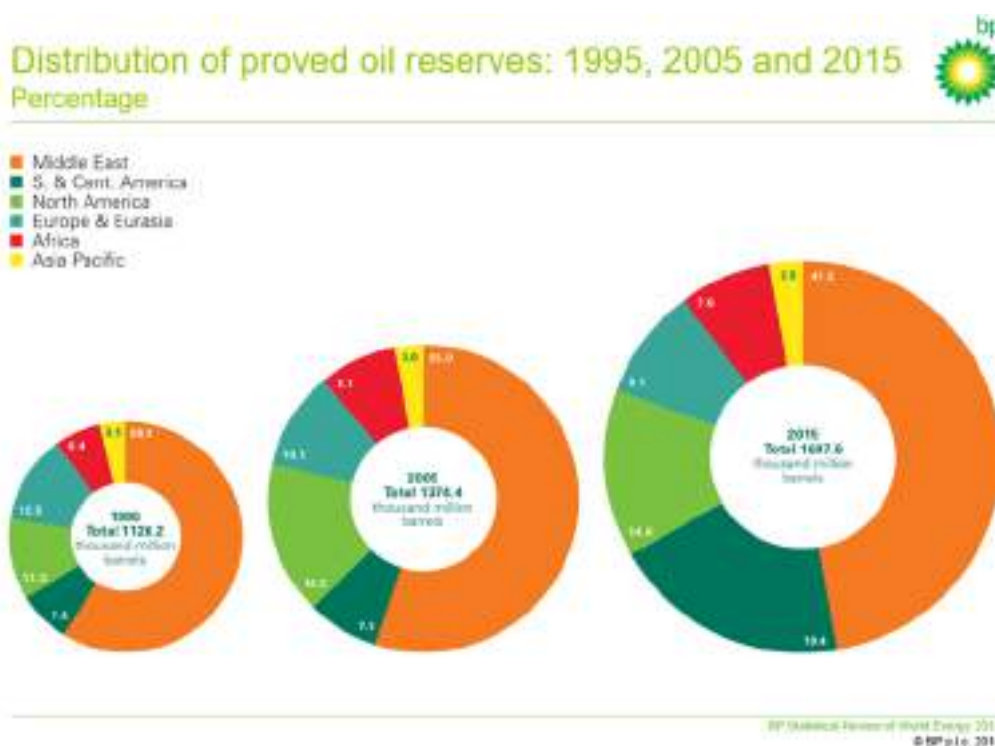


Σχήμα 6: Οι ιζηματογενείς λεκάνες της Γης με τις πιο σημαντικές παραγωγικές περιοχές.²⁷

Γεωγραφική κατανομή και αποθέματα πετρελαίου

Τα κοιτάσματα πετρελαίου βρίσκονται σε διάφορες περιοχές του πλανήτη. Τα μεγαλύτερα ποσοστά είναι συγκεντρωμένα σε τρεις περιοχές: στις χώρες της Μέσης Ανατολής, της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής και στην Βόρεια Αμερική. Στο τέλος του 2015, τα αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου, δηλαδή αυτά που μπορούν να παραχθούν από τα γνωστά κοιτάσματα και με τις σημερινές τεχνολογικές και οικονομικές συνθήκες, είναι περίπου 1,7 τρισεκατομμύριο βαρέλια (1697 δισεκατομμύρια) και επαρκούν για 50,7 χρόνια με τους σημερινούς ρυθμούς εκμετάλλευσης.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου ανά τον κόσμο σε δισεκατομμύρια βαρέλια και η κατανομή των αποθεμάτων είναι ανά ήπειρο ή περιοχή.



Σχήμα 7: Κατανομή αποδεδειγμένων αποθεμάτων ανά ήπειρο.²⁸

Η Μέση Ανατολή κατέχει την πρώτη θέση, ανάμεσα σε όλες τις περιοχές του κόσμου, στα αποδεδειγμένα κοιτάσματα πετρελαίου. Συγκεκριμένα στο υπέδαφος της βρίσκονται περίπου 807 δις. βαρέλια πετρελαίου. Δεύτερη έρχεται η Λατινική Αμερική με 339 δις. βαρέλια. Στην τρίτη και τέταρτη θέση βρίσκονται η Αφρική με 128 δις. βαρέλια και η ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Ευρώπης και της Ευρασίας με 120 δις. βαρέλια αντίστοιχα.

Μπορεί η Μέση Ανατολή να βρίσκεται πρώτη στη λίστα με τα αποθέματα πετρελαίου, ωστόσο αν εξετάσουμε τις χώρες μεμονωμένα θα παρατηρήσουμε ότι η

Βενεζουέλα κρύβει κάτω από το υπέδαφος της το εξωπραγματικό νούμερο των 302 δις. βαρελιών αργού πετρελαίου. Ακολουθώντας η Σαουδική Αραβία με 266 δις. βαρέλια, το Ιράν και το Ιράκ με 157 και 148 δις βαρέλια αντίστοιχα αλλά και το Κουβέιτ με 101 δις βαρέλια συνθέτουν το τοπ 5 των χωρών με τα μεγαλύτερα αποθέματα πετρελαίου στον κόσμο.

Η Ρωσία βρίσκεται στην 7^η θέση με 80 δις. βαρέλια αργού πετρελαίου

Στην Αφρική η Λιβύη κατέχει την πρώτη θέση με περίπου 48 δις. βαρέλια και ακολουθεί η Νιγηρία με 37 δις. βαρέλια.

Η Κίνα, οι Η.Π.Α. και το Καζακστάν μπορεί να μη βρίσκονται στην κορυφή της λίστας, εντούτοις αξίζει να αναφέρουμε ότι έχουν πολύ ενεργό ρόλο στην ενεργειακή σκακιέρα.

Table 3.1
World proven crude oil reserves by country

(in b)

	2012	2013	2014	2015	2016	% change 16/15
North America	34,661.0	37,552.0	40,502.0	36,218.0	36,218.0	–
Canada	4,122.0	4,281.0	4,118.0	3,900.0	3,900.0	–
United States	30,529.0	33,271.0	36,386.0	32,318.0	32,318.0	–
Latin America	230,266.0	341,522.0	341,296.0	362,549.0	339,645.0	–0.6
Argentina	2,805.0	2,820.0	2,354.0	2,380.0	2,195.0	–8.2
Brazil	13,164.0	16,090.0	16,544.0	16,184.0	12,910.0	–20.2
Colombia	2,200.0	2,377.0	2,446.0	2,308.0	2,002.0	–13.3
Ecuador	9,235.0	9,822.0	9,273.0	9,273.0	9,273.0	–
Mexico	11,424.0	11,079.0	9,711.0	9,711.0	9,711.0	–
Venezuela	297,736.0	298,360.0	298,963.0	300,878.0	302,260.0	0.5
Others	2,903.0	3,014.0	3,016.0	2,816.0	2,314.0	–17.8
Eastern Europe and Eurasia	119,881.0	119,074.0	119,863.0	119,890.0	119,856.0	–
Azerbaijan	7,000.0	7,000.0	7,000.0	7,000.0	7,000.0	–
Belarus	198.0	198.0	198.0	198.0	198.0	–
Kazakhstan	30,000.0	30,000.0	30,000.0	30,000.0	30,000.0	–
Russia	80,000.0	80,000.0	80,000.0	80,000.0	80,000.0	–
Turkmenistan	600.0	600.0	600.0	600.0	600.0	–
Ukraine	395.0	395.0	395.0	395.0	395.0	–
Uzbekistan	584.0	584.0	584.0	584.0	584.0	–
Others	1,094.0	1,087.0	1,076.0	1,073.0	1,068.0	–0.4
Western Europe	10,800.0	11,337.0	10,761.0	10,964.0	11,363.0	12.8
Denmark	805.0	805.0	611.0	611.0	491.0	–29
Norway	5,268.0	5,025.0	5,497.0	5,129.0	6,610.0	29.0
United Kingdom	2,800.0	2,979.0	2,982.0	2,756.0	2,564.0	–6.9
Others	1,829.0	1,727.0	1,670.0	1,668.0	1,688.0	1.7
Middle East	799,122.0	802,958.0	802,512.0	802,888.0	807,738.0	0.6
Iran	167,300.0	167,800.0	167,530.0	168,400.0	167,200.0	–0.8
Iraq	140,300.0	144,211.0	142,069.0	142,503.0	148,796.0	4.4
Kuwait	101,600.0	101,600.0	101,600.0	101,600.0	101,600.0	–
Oman	5,500.0	4,974.0	5,161.0	5,200.0	5,372.0	1.9
Qatar	26,244.0	26,244.0	26,244.0	26,244.0	26,244.0	–
Saudi Arabia	265,980.0	265,799.0	268,578.0	266,495.0	266,708.0	–0.1
Syrian Arab Republic	2,500.0	2,500.0	2,500.0	2,500.0	2,500.0	–
United Arab Emirates	97,800.0	97,900.0	97,900.0	97,800.0	97,800.0	–
Others	3,138.0	3,138.0	3,140.0	3,140.0	3,138.0	–
Africa	128,291.0	128,070.0	127,254.0	127,968.0	128,359.0	0.3
Algeria	12,200.0	12,200.0	12,200.0	12,200.0	12,200.0	–
Angola	9,066.0	9,011.0	9,423.0	9,524.0	9,523.0	–
Egypt	4,400.0	4,400.0	4,400.0	4,400.0	4,400.0	–
Gabon	2,000.0	2,000.0	2,000.0	2,000.0	2,000.0	–
Libya	48,472.0	48,363.0	48,363.0	48,363.0	48,363.0	–
Nigeria	37,139.0	37,071.0	37,448.0	37,062.0	37,463.0	1.3
Sudan	5,000.0	5,000.0	5,000.0	5,000.0	5,000.0	–
Others	10,026.0	10,026.0	9,420.0	9,420.0	9,420.0	–
Asia and Pacific	47,552.0	47,860.0	48,167.0	48,395.0	48,093.0	1.3
Australia	3,922.0	3,957.0	3,962.0	3,962.0	3,985.0	0.3
Brunei	1,100.0	1,100.0	1,100.0	1,100.0	1,100.0	–
China	24,428.0	24,376.0	24,649.0	26,133.0	26,620.0	1.9
India	5,571.0	5,643.0	5,676.0	5,680.0	5,748.0	1.2
Indonesia	3,291.0	3,203.0	3,303.0	3,230.0	3,230.0	–
Malaysia	3,868.0	3,780.0	3,760.0	3,600.0	3,600.0	–
Vietnam	4,400.0	4,400.0	4,400.0	4,400.0	4,400.0	–
Others	1,172.0	1,331.0	1,338.0	1,261.0	1,319.0	4.6
Total world	1,478,673.0	1,489,272.0	1,490,386.0	1,497,893.0	1,492,154.0	0.3
of which						
OPEC	1,202,800.0	1,208,171.0	1,208,382.0	1,210,202.0	1,210,790.0	0.5
OPEC percentage	81.3	81.1	81.1	81.3	81.5	
OECD	61,183.0	64,367.0	66,277.0	60,296.0	61,569.0	2.1
FSU	119,890.0	119,890.0	119,890.0	119,890.0	119,890.0	–

Notes: Figures in 2016 and
1. Data excludes oil sands.

Σχήμα 8: Αποδεδειγμένα κοιτάσματα πετρελαίου ανά χώρα.²⁹

Διάρθρωση εκμετάλλευσης

Για να παραχθεί πετρέλαιο πρέπει πρώτα να ανακαλυφθεί κάποιο κοίτασμα ύστερα από έρευνα του υπεδάφους. Η έρευνα για την ανακάλυψη κοιτασμάτων ορυκτών υδρογονανθράκων περιλαμβάνει τον εντοπισμό θέσεων στο υπέδαφος και την εκτέλεση γεωτρήσεων, για να διαπιστωθεί αν στις θέσεις αυτές υπάρχουν πράγματι τέτοια κοιτάσματα και μάλιστα εκμεταλλεύσιμα.

Όταν με τις προκαταρκτικές φάσεις της έρευνας εντοπισθούν θέσεις όπου είναι πιθανή η παρουσία κοιτασμάτων πετρελαίου, τότε αρχίζουν στις θέσεις αυτές ερευνητικές γεωτρήσεις για να διαπιστωθεί αν πράγματι υπάρχουν αξιοποιήσιμα κοιτάσματα. Στη φάση αυτή συλλέγονται πετρώματα και πραγματοποιούνται διάφορες μετρήσεις για να προσδιορισθούν τα χαρακτηριστικά τους. Έτσι μετρώνται η ηλεκτρική αντίσταση, το πορώδες είναι η περιεκτικότητα σε ραδιενεργά υλικά κ.λπ. Μόλις η γεώτρηση φτάσει σε γεωλογικό σχηματισμό όπου περιέχονται ορυκτοί υδρογονάνθρακες, αρχίζει ειδική δειγματοληψία προκειμένου να προσδιορισθούν οι φυσικές και χημικές ιδιότητες.

Αφού διαπιστωθεί η ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου κοιτάσματος και προσδιορισθούν τα χαρακτηριστικά του, τότε μπορεί να αρχίσει η εκμετάλλευση. Για τον σκοπό αυτό δημιουργείται ένα δίκτυο γεωτρήσεων παραγωγής, όπου η διάταξη και οι μεταξύ τους αποστάσεις ποικίλλουν.

Οι γεωτρήσεις πετρελαίου έχουν διαμέτρους μέχρι 50cm ενώ το βάθος τους μπορεί να φτάσει μέχρι τα 10.000m. Οι γεωτρήσεις μπορούν να γίνουν σε ξηρά, λίμνη και θάλασσα. Στην τελευταία περίπτωση το γεωτρύπανο είναι τοποθετημένο σε πλοίο (στις προκαταρκτικές ερευνητικές γεωτρήσεις) ή σε ειδική εξέδρα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 9



Σχήμα 9 Θαλάσσια εξέδρα εξόρυξης πετρελαίου.

Τρόποι Εξόρυξης

Η παρουσία πετρελαϊκού κοιτάσματος στο υπέδαφος δεν έχει πάντοτε και επιφανειακές ενδείξεις. Συνεπώς η ανακάλυψη τέτοιων κοιτασμάτων μπορεί να γίνει τελείως συμπτωματικά. Τέτοια περίπτωση ήταν στην Αργεντινή το 1908 όταν σε γεώτρηση για πόσιμο νερό ανακαλύφθηκε πετρέλαιο. Ως επιφανειακές ενδείξεις πάντως μπορεί να θεωρηθούν οι ακόλουθες:

- Εκτεταμένη γυμνή όψη επιφάνειας όπου δεν παρατηρείται βλάστηση.
- Ύπαρξη πηγών αλμυρών ή θειούχων θερμών υδάτων.
- Παρατηρούμενα εξερχόμενα αέρια από το υπέδαφος, συχνά αποτελούν σοβαρή εξωτερική εκδήλωση πετρελαϊκού κοιτάσματος.
- Επίσης τα ιλυώδη ή βορβορώδη ηφαιίστεια βρίσκονται κοντά σε τέτοια κοιτάσματα, όπως στην περίπτωση του Καυκάσου.
- Αναβλύσεις πετρελαίου ή πίσσας αποτελούν την κυριότερη επιφανειακή εκδήλωση ύπαρξης κοιτάσματος. Είναι, όμως, αδύνατον με μόνον αυτή την παρατήρηση να εξαχθούν συμπεράσματα επί της οικονομικής εκμετάλλευσης του τυχόν υπάρχοντος κοιτάσματος.

Ανεξάρτητα όμως των παραπάνω ενδείξεων οι γεωλόγοι ερευνητές αναγκάζονται να ακολουθήσουν διάφορες μεθόδους ικανές προς εξαγωγή σαφέστερων συμπερασμάτων, όπως τη σεισμική, την ηλεκτρική, τη σταθμική, τη ραδιενεργή μέθοδο, καθώς και τους δύο τρόπους γεώτρησης, η τύπου «κέιμπ τουλ» και η τύπου «ρόταρυ». Στην πράξη, σπάνια χρησιμοποιείται μία μοναδική μέθοδος. Συνήθως εφαρμόζεται, ανάλογα με τη θέση έρευνας, συνδυασμός περισσότερων μεθόδων.

- Σεισμική μέθοδος. Αυτή η μέθοδος βασίζεται κυρίως στην ταχύτητα μετάδοσης των δονήσεων ενός τεχνητού σεισμού, ο οποίος προκαλείται συνήθως με χρήση κατάλληλων εκρηκτικών. Πραγματοποιείται με δύο τρόπους: Είτε μέσω διάθλασης είτε μέσω ανάκλασης σεισμικών κυμάτων. Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι αντί πετρελαϊκού κοιτάσματος μπορεί να εντοπιστούν απλώς μεγάλες ποσότητες υπόγειων υδάτων.
- Ηλεκτρική μέθοδος. Αυτή η μέθοδος βασίζεται κυρίως στο γεγονός ότι ο φλοιός της Γης έχει ορισμένες ηλεκτρικές σταθερές, μία εκ των οποίων είναι και η αντίσταση διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι, με δεδομένο ότι το πετρέλαιο δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, η ένδειξη μεγαλύτερης σχετικής αντίστασης μπορεί να θεωρηθεί ένδειξη παρουσίας πετρελαϊκού κοιτάσματος.
- Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος. Αυτή βασίζεται σε ευαίσθητα όργανα, τα καλούμενα μαγνητόμετρα, που μπορούν να μετρήσουν με σχετικά μεγάλη ακρίβεια την ένταση του μαγνητικού πεδίου της Γης από τόπο σε τόπο.

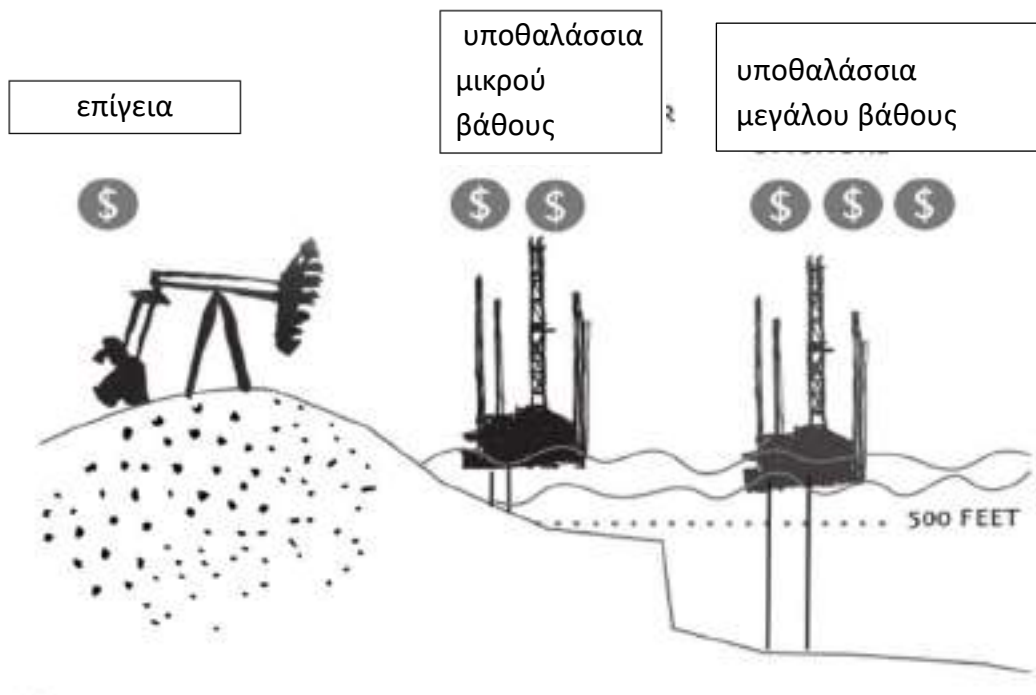
- Σταθμική ή βαρυτομετρική μέθοδος. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην μέτρηση της έντασης του πεδίου βαρύτητας στα διάφορα σημεία της επιφάνειας της Γης.
- Ραδιενεργή μέθοδος. Η μέθοδος αυτή κρίνεται πολύ αξιόπιστη και εφαρμόζεται με επιτυχία σε τοποθεσίες με ήπιο ανάγλυφο.

Παρά την επικρατούσα άποψη, το πετρέλαιο δεν είναι και τόσο σπάνιο πέτρωμα, αφού δεν υπάρχει σχεδόν καμία χώρα που να μην έχει ίχνη πετρελαίου ή ασφάλτου ή φυσικά γήινα αέρια. Όμως η δυνατότητα εκμετάλλευσης αυτών είναι που το προσδιορίζει ως σπάνιο (υφιστάμενη ποσότητα και κόστος εξόρυξης).

Γεωλόγοι και τοπογράφοι αναζητούν σημεία στο υπέδαφος όπου θα μπορούσε να έχει παγιδευτεί αργό πετρέλαιο. Αφού γίνουν κάποιες ειδικές μετρήσεις και πάρουν δείγματα, κάνουν γεώτρηση για να επιβεβαιώσουν ότι πράγματι υπάρχει πετρέλαιο. Τα πρώτα χρόνια, η επιτυχία του εντοπισμού πετρελαιοφόρας περιοχής μπορεί να σήμαινε «μπάνιο» στη λάσπη και στο πετρέλαιο με συνεπακόλουθη απώλεια της αρχικής ανάβλυσης και κίνδυνο έκρηξης. Ωστόσο, μέσω οργάνων μέτρησης και ειδικών βαλβίδων, τα σύγχρονα γεωτρήσιμα αποτρέπουν αυτή την πιθανότητα. Επίσης, σήμερα μπορούν να γίνονται μικρότερες και βαθύτερες διανοίξεις. Επειδή η πίεση η οποία κάνει το πετρέλαιο και το αέριο να βγαίνουν στην επιφάνεια μειώνεται, πρέπει να διατηρείται υψηλή με την έκχυση νερού, χημικών ουσιών, διοξειδίου του άνθρακα ή άλλων αερίων, όπως το άζωτο. Ανάλογα με την περιοχή, το πετρέλαιο μπορεί να έχει διαφορετικούς βαθμούς πυκνότητας. Φυσικά, το ελαφρύ πετρέλαιο προτιμάται πολύ περισσότερο επειδή είναι πιο εύκολο να αντληθεί και να διυλιστεί.

Η άντληση του πετρελαίου γίνεται από ειδικές πυργωτές εγκαταστάσεις, που εγκαθίστανται πάνω στις λεγόμενες πετρελαιοπηγές. Το πετρέλαιο λαμβάνεται μετά από διάτρηση του εδάφους, τη γεώτρηση με τη μορφή αρτεσιανού φρέατος όπου το πετρέλαιο, σε ορισμένες περιπτώσεις, λόγω των υφιστάμενων πιέσεων, αναβλύζει υπό μορφή πίδακα ύψους πολλών μέτρων. Συνηθέστερα όμως εξάγεται με απάντληση κατόπιν προκαλούμενης πίεσης, στην αρχή, νερού επί του οποίου και επιπλέει το προς εξόρυξη πετρέλαιο. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι αύξησης της παραγωγής πετρελαίου από τις πηγές, όπως με εξακόντιση νιτρογλυκερίνης ή με εισαγωγή υπό πίεση υδροχλωρικού οξέος ή ακόμα μετά από διαβίβαση αερίων υπό πίεση.

Όπως εξηγεί το Αμερικανικό Ινστιτούτο Πετρελαίου, η σύγχρονη τεχνολογία περιλαμβάνει την οριζόντια διάτρηση, η οποία ουσιαστικά γίνεται παράλληλα με το φλοιό της γης και μειώνει τον αριθμό των πετρελαιοπηγών που πρέπει να διανοιχτούν. Οι θαλάσσιες γεωτρήσεις, οι οποίες άρχισαν το 1947 στον Κόλπο του Μεξικού, αύξησαν πολύ την παραγωγή πετρελαίου. Βέβαια, η μέθοδος άντλησης που χρησιμοποιείται επηρεάζει άμεσα την τιμή του τελικού προϊόντος.



Σχήμα 10: Σχηματική απεικόνιση τιμής και μεθόδου άντλησης πετρελαίου.²⁷

Για να χρησιμοποιηθούν άμεσα για βιομηχανική χρήση ή εμπορικές εφαρμογές χρειάζεται ειδική επεξεργασία σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας (διυλιστήρια).

Η πρώτη επεξεργασία είναι η κλασματική απόσταξη χωρίζοντας το πετρέλαιο στα επιμέρους στοιχεία.

Το πετρέλαιο από τις πετρελαιοπηγές είναι αναμεμιγμένο με αέρια, νερό καθώς και με μικρές ποσότητες άμμου. Τα μεν αέρια αποχωρίζονται μέσω ενός διαχωριστή και χρησιμοποιούνται είτε προς επαναισαγωγή εντός των πηγών, είτε οδηγούνται στο εμπόριο ως φυσικό αέριο. Εναλλακτικά, μπορούν να διαβιβαστούν μέσα σε απορροφητικό έλαιο όπου το νερό αποχωρίζεται από το πετρέλαιο με την παραμονή του σε δεξαμενές και η άμμος διαχωρίζεται με καθίζηση. Αν, όμως, έχει αναμιχθεί το πετρέλαιο με το νερό ως γαλάκτωμα, τότε είναι απαραίτητο να ακολουθήσουν ιδιαίτερες διεργασίες θέρμανσης, καθώς και χημικές ή ηλεκτρικές μέθοδοι αποχωρισμού του νερού. Το καθαρό ακατέργαστο πετρέλαιο συλλέγεται σε δοχεία ορισμένης χωρητικότητας από τα οποία και οδηγείται σε μεγάλες δεξαμενές και θα ακολουθήσει η περαιτέρω επεξεργασία του. Αυτά είναι σύνθετα μίγματα συνήθως υδρογονανθρακικού τύπου, που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα σε βιομηχανικές ή εμπορικές εφαρμογές. Πρέπει να επεξεργαστούν στα διυλιστήρια πετρελαίου με τις κατάλληλες διεργασίες για να παραγάγουν μια σειρά προϊόντων που μπορούν να πωληθούν σύμφωνα με συγκεκριμένες ποιοτικές απαιτήσεις. Η πρώτη επεξεργασία την οποία υφίσταται ονομάζεται κλασματική απόσταξη. Η κλασματική απόσταξη είναι μια μέθοδος διαχωρισμού των συστατικών πετρελαίου σε ομάδες υδρογονανθράκων με κριτήριο το σημείο βρασμού τους. Έπειτα ορισμένα κλάσματα του πετρελαίου υποβάλλονται σε αποθείωση, ώστε να απομακρυνθούν οι θειούχες προσμείξεις. Η δομή των εγκαταστάσεων επεξεργασίας πετρελαίου

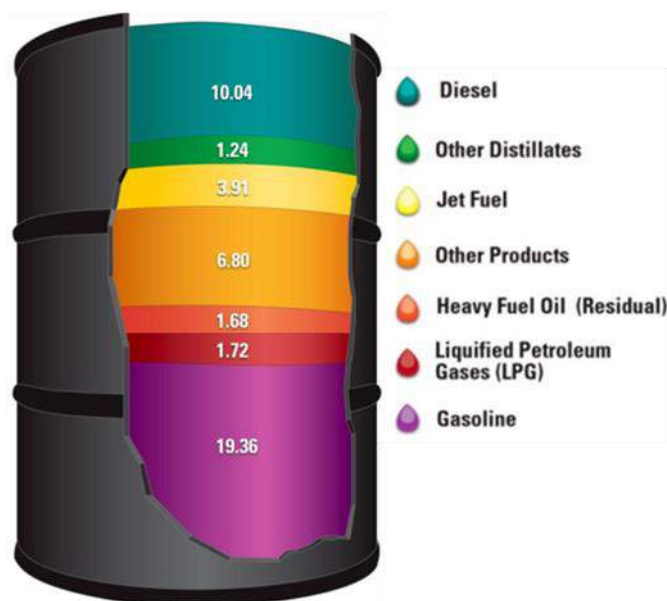
εξαρτάται από τις απαιτήσεις της αγοράς για τα προϊόντα που πωλούνται και από τους διαθέσιμους τύπους ακατέργαστου πετρελαίου. Και οι δύο παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη για να αποφευχθεί υπερβολική παραγωγή μη εμπορεύσιμου προϊόντος και για να καθορίσουν την πολυπλοκότητα των εγκαταστάσεων.

Τα πετρελαϊκά προϊόντα ομαδοποιούνται συνήθως σε τρεις κατηγορίες: ελαφρά αποστάγματα (υγραέριο, βενζίνη, νάφθα), μεσαία αποστάγματα (κηροζίνη, ντίζελ), βαριά αποστάγματα και υπόλειμμα (βαρύ καύσιμο έλαιο, λιπαντικά λάδια, κερί, άσφαλτος). Αυτή η κατηγοριοποίηση βασίζεται στον τρόπο απόσταξης του αργού πετρελαίου καθώς και στον τρόπο διαχωρισμού σε κλάσματα:

- Υγραέριο (LPG)
- Βενζίνη: Χρησιμοποιείται ως καύσιμο αυτοκινήτων και ως πρώτη ύλη για πλαστικά
- Νάφθα: Μπορεί να μετατραπεί σε πλαστικό, σε καύσιμο αυτοκινήτων και σε άλλες χημικές ουσίες
- Κηροζίνη και σχετικά καύσιμα αεριοθεωμένων
- Καύσιμο ντίζελ
- Λιπαντικά
- Κερί παραφίνης
- Άσφαλτος και πίσσα
- Πετρελαϊκός οπτάνθρακας
- Θείο

Τα διυλιστήρια πετρελαίου παράγουν επίσης ποικίλα ενδιάμεσων προϊόντων όπως υδρογόνο, ελαφροί υδρογονάνθρακες, αναμορφωμένη και πυρολυμένη βενζίνη. Αυτά δεν μεταφέρονται συνήθως, αλλά αναμειγνύονται και επεξεργάζονται επί τόπου. Οι χημικές εγκαταστάσεις είναι συνεπώς συχνά γειτονικές με διυλιστήρια πετρελαίου. Για παράδειγμα, οι ελαφροί υδρογονάνθρακες πυρολύονται με ατμό σε εγκατάσταση αιθενίου και το παραγόμενο αιθένιο πολυμερίζεται για την παραγωγή πολυαιθενίου.

Products Made from a Barrel of Crude Oil (Gallons) (2009)



Σχήμα 11: Προϊόντα πετρελαίου από την κλασματική απόσταξη.³⁰

Μεταφορά Πετρελαίου

Οι πρώτες εταιρίες πετρελαίου της Πενσυλβάνιας μετέφεραν το πετρέλαιο σε βαρέλια κρασιού των 180 λίτρων. Αργότερα, έβαζαν μόνο 159 λίτρα πετρελαίου για να μη χύνεται κατά τη μεταφορά. Το βαρέλι (159 λίτρα) χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα για το εμπόριο πετρελαίου. Το 1863 κατασκευάστηκαν στην Πενσυλβάνια ξύλινοι αγωγοί μικρής διαμέτρου για τη μεταφορά πετρελαίου επειδή ήταν φτηνότεροι και η χρήση τους περιλάμβανε λιγότερες δυσκολίες σε σύγκριση με τη μεταφορά βαρελιών 159 λίτρων πάνω σε ιππήλατες άμαξες. Τα σύγχρονα συστήματα αγωγών εξελίχθηκαν και πολλαπλασιάστηκαν. Σύμφωνα με την Ένωση Πετρελαιαγωγών, το δίκτυο των Ηνωμένων Πολιτειών και μόνο αποτελείται από πετρελαιαγωγούς μήκους 300.000 χιλιομέτρων.

Αυτά τα συστήματα αγωγών, τα οποία είναι κυρίως μεταλλικά, δεν μεταφέρουν μόνο το αργό πετρέλαιο στα διυλιστήρια αλλά και τα τελικά προϊόντα του πετρελαίου στους διανομείς. Χάρη στη σύγχρονη τεχνολογία των αγωγών, υπάρχουν αυτόματα συστήματα παρακολούθησης της ροής και της πίεσης. Έχουν κατασκευαστεί μικρές έξυπνες συσκευές που ελέγχουν εκατοντάδες χιλιόμετρα αγωγών καθώς περνούν μέσα από αυτούς και επίσης έχει αναπτυχθεί ο έλεγχος διαρροών μέσω μαγνητικής ροής και ο έλεγχος με υπερήχους. Ωστόσο, το μόνο που θα δει ο συνηθισμένος καταναλωτής των τελικών προϊόντων είναι ίσως μια πινακίδα η οποία δείχνει ότι

υπογείως βρίσκεται ένας πετρελαιοαγωγός και προειδοποιεί ότι δεν πρέπει να γίνουν εκσκαφές σε εκείνο το μέρος.

Όσο χρήσιμο και αν είναι, όμως, το σύστημα αγωγών δεν είναι πρακτικό για υπερπόντια μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων πετρελαίου. Αλλά οι πρώτοι επιχειρηματίες που ασχολήθηκαν με το πετρέλαιο βρήκαν και για αυτό μια λύση, τα τεράστια πετρελαιοφόρα. Πρόκειται για ειδικά σχεδιασμένα πλοία μήκους μέχρι και τετρακοσίων μέτρων. Τα πετρελαιοφόρα είναι τα μεγαλύτερα πλοία που διασχίζουν τους ωκεανούς και μπορούν να μεταφέρουν ένα εκατομμύριο ή και περισσότερα βαρέλια πετρέλαιο. Οι φορτηγίδες και τα βυτία σε βαγόνια τρένων είναι επίσης συνηθισμένα μέσα μαζικής μεταφοράς πετρελαίου. Από την αρχή, το πετρέλαιο για την Ευρώπη μεταφερόταν διά θαλάσσης και συνήθως το βάρος του υπολογιζόταν σε τόνους, όπως γίνεται και σήμερα.

Αγορά Πετρελαίου

Στη δεκαετία του '30 οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Σοβιετική Ένωση ήταν οι κύριοι παραγωγοί πετρελαίου και παρείχαν ικανοποιητικές ποσότητες βενζίνης για να καλύψουν τις ανάγκες τους. Οι χώρες καταναλωτές στον υπόλοιπο κόσμο έπρεπε να βασιστούν στις προμήθειες πετρελαίου από διάφορες χώρες παραγωγούς, κυρίως από τη Νότιο και Κεντρική Αμερική (Βενεζουέλα, Μεξικό) και τη Μέση Ανατολή (Ιράκ, Σαουδική Αραβία).

Η μεγαλύτερη επέκταση της βιομηχανίας πετρελαίου πραγματοποιήθηκε μέσα στις τρεις δεκαετίες μετά από το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Μεταξύ 1950 και 1980, η ζήτηση πετρελαίου παγκοσμίως πενταπλασιάστηκε. Ο σχηματισμός των πολιτικών και οικονομικών ομάδων στο "ανατολικό" και στο "δυτικό" ημισφαίριο και η ίδρυση του ΟΠΕΚ (Οργανισμός Πετρελαίου Εξαγωγικών Κρατών) το 1960 ήταν σημαντικές εξελίξεις για το διεθνές εμπόριο και μεταφορά πετρελαίου.

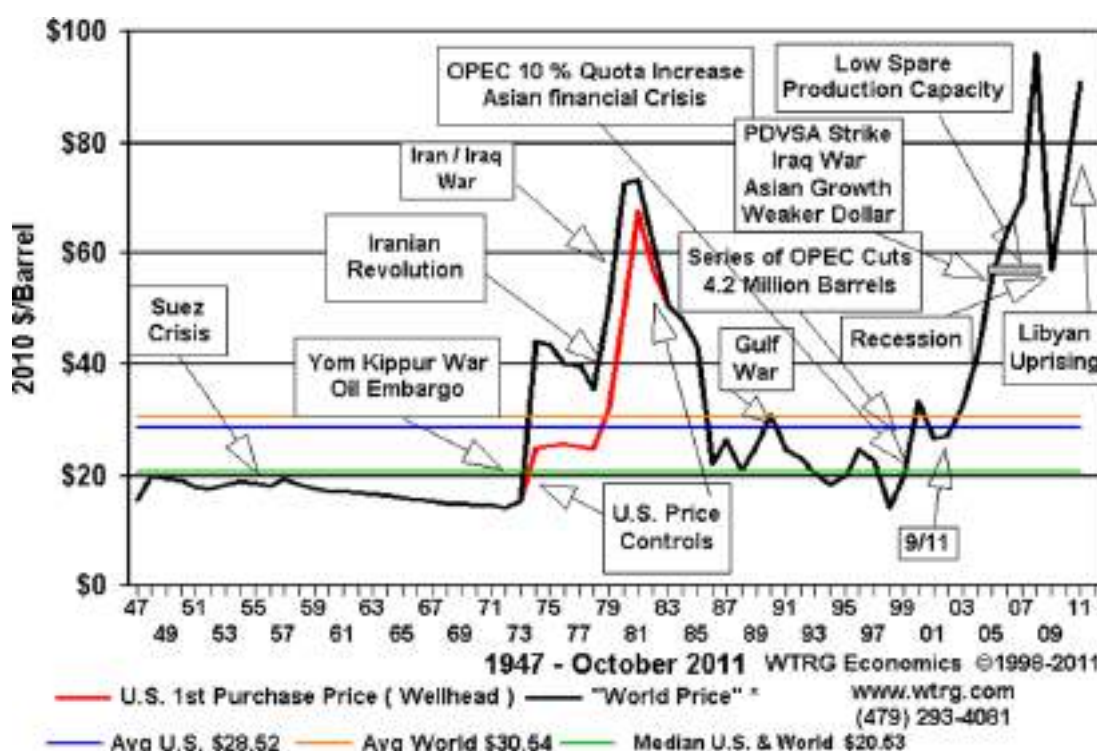
Η επεξεργασία πετρελαίου υπέστη μια γρήγορη ανάπτυξη αρχικά στις ιδιαίτερα βιομηχανοποιημένες περιοχές της Βόρειας Αμερικής, της Δυτικής και της Ανατολικής Ευρώπης, της Ανατολικής Ασίας, και της Αυστραλίας, και αργότερα, λόγω πληθυσμιακής αύξησης και τις ενεργειακών απαιτήσεων, επίσης σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες στη Λατινική Αμερική, την Αφρική, και την Ασία. Τέλος, οι μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας πετρελαίου κατασκευάστηκαν επίσης στις χώρες του ΟΠΕΚ για την εξαγωγή προϊόντων εις βάρος των εξαγωγών αργού πετρελαίου. Οι δύο μεγάλες ανατιμήσεις του αργού πετρελαίου παγκοσμίως το 1973 – 1974 και το 1979 – 1980 προκάλεσαν αλλαγές στην κατανάλωση πετρελαίου, η οποία ανάγκασε τη βιομηχανία πετρελαίου να αναπτύξει διεργασίες με αυξημένες αποδόσεις και οδήγησε σε μείωση των διαθέσιμων εγκαταστάσεων επεξεργασίας (κλείσιμο διυλιστηρίων), ειδικά στη Βόρεια Αμερική και τη Δυτική Ευρώπη. Τα διυλιστήρια έγιναν πιο σύνθετα με την εγκατάσταση διεργασιών μετατροπής

υπολειμμάτων μεγαλύτερης δυναμικότητας, όπως η υδροπυρόλυση, η οποία αύξησε τις αποδόσεις σε καύσιμα μεταφορών ενώ μπόρεσε να μειωθεί η κατανάλωση αργού πετρελαίου.

Τιμή πετρελαίου

Έχουν ιδρυθεί όμιλοι και οργανισμοί με στόχο την αποφυγή της αστάθειας που επικρατούσε τα πρώτα χρόνια στις τιμές και στην παραγωγή πετρελαίου. Ένας από αυτούς τους φορείς είναι ο Οργανισμός Πετρελαιοεξαγωγών Χωρών (ΟΠΕΚ). Ο ΟΠΕΚ είναι ένας διεθνής οργανισμός, στον οποίο μετέχουν σχεδόν όλες οι πετρελαιοπαραγωγές χώρες του κόσμου και έχει ως αποστολή του το συντονισμό των χωρών αυτών κυρίως στον έλεγχο της τιμής του πετρελαίου.

Παρατηρούνται έντονες διακυμάνσεις στην τιμή του αργού πετρελαίου που σχετίζονται με τις εξελίξεις στην παγκόσμια οικονομία και πολιτικοί. Άλλοι παράγοντες που επιδρούν στην τιμή του είναι τα επίπεδα προσφοράς και ζήτησης, το ΑΕΠ και η κατανάλωση ενέργειας και ο τρόπος που τα αποθέματα είναι διαμοιρασμένα. Κατά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση (1973-1974) παρατηρήθηκε τριπλασιασμός της τιμής του πετρελαίου και εθνικοποιήθηκαν τα κοιτάσματα (εμπάργκο αραβικών πετρελαίων). Κατά τη δεύτερη πετρελαϊκή κρίση (1980) οι τιμές πετρελαίου διπλασιάστηκαν λόγω των πολιτικών εξελίξεων στη Μέση Ανατολή.



Σχήμα 12 Χρονική εξέλιξη τιμών πετρελαίου.³¹

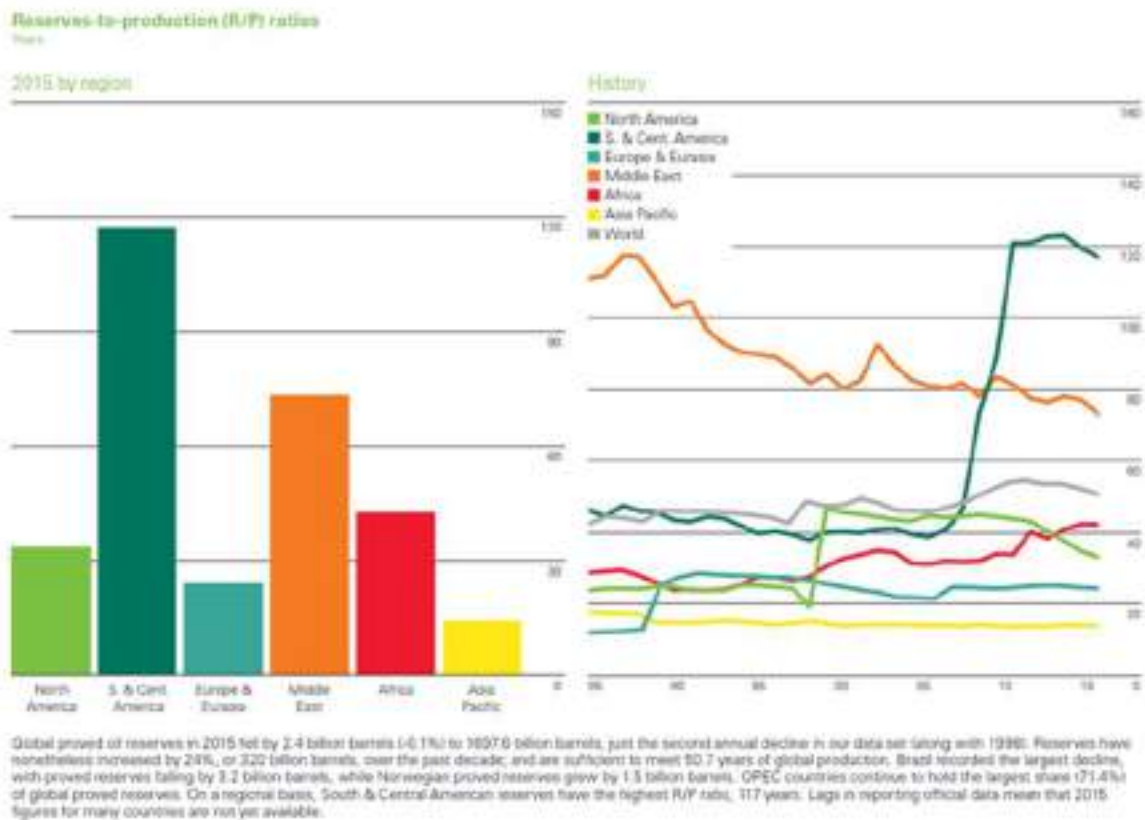
Υπόμνημα

- Suez Crisis: Η κρίση που ξέσπασε το καλοκαίρι του 1956 στην Αίγυπτο αμέσως μετά την εθνικοποίηση της διώρυγας του Σουέζ
- Yom Kippur War Oil Embargo: Ο Πόλεμος του Γιομ Κιπούρ, ή αλλιώς Δ' Αραβοϊσραηλινός Πόλεμος, που συνέβη τον Οκτώβριο του 1973 και εμπάργκο πετρελαίου
- Iranian Revolution: Η Ιρανική Επανάσταση
- Iran/Iraq War: Ο πόλεμος Ιράν/Ιράκ
- U.S. Price Controls: Έλεγχος τιμών Αμερικής
- Gulf War: Ο πόλεμος του Κόλπου
- OPEC 10% Quota Increase Asian Financial Crisis: Αύξηση 10% των μεριδίων του ΟΠΕΚ η οικονομική κρίση στην Ασία
- PVDSA Strike Iraq War Asian Growth Weaker Dollar: Η απεργία στην εταιρεία PVDSA στη Βενεζουέλα, ο πόλεμος στο Ιράκ, η ανάπτυξη της Ασίας και η πτώση του δολαρίου
- Low Spare Production Capacity: Χαμηλή πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα
- Libyan Uprising: η επανάσταση στη Λιβύη

Διάρκεια Ζωής Πετρελαίου

Ο λόγος [αποδεδειγμένα αποθέματα / παραγωγή] δείχνει για πόσα χρόνια μπορούμε να εκμεταλλευόμαστε τα κοιτάσματα αργού πετρελαίου. Τα αποδεδειγμένα κοιτάσματα βέβαια όπως και ο ρυθμός παραγωγής μεταβάλλονται με το πέρασμα των χρόνων, άρα και αυτός ο λόγος δεν είναι σταθερός.

Στο τέλος του 2015, τα αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου, δηλαδή αυτά που μπορούν να παραχθούν από τα γνωστά κοιτάσματα και με τις σημερινές τεχνολογικές και οικονομικές συνθήκες, είναι περίπου 1,7 τρισεκατομμύριο βαρέλια (1697 δισεκατομμύρια) και επαρκούν για 50,7 χρόνια με τους σημερινούς ρυθμούς εκμετάλλευσης. Συγκεκριμένα η Νότια και Κεντρική Αμερική παρουσιάζει το μεγαλύτερο ρυθμό αποθεμάτων προς παραγωγή, πράγμα που σημαίνει ότι για τα επόμενα 117 χρόνια θα μπορεί να αντλεί και να εκμεταλλεύεται το πετρέλαιο που βρίσκεται στο υπέδαφος της. Δεύτερη περιοχή με πολύ μεγάλο "προσδόκιμο ζωής" πετρελαίου είναι η Μέση Ανατολή με το λόγο να φτάνει τα 75 χρόνια. Αυτό που έχει μεγάλο ενδιαφέρον(βλ. 2^ο σχήμα) είναι η πτώση που εμφανίζει η Μέση Ανατολή, ξεκινώντας το 1985 με "διάρκεια ζωής" 110 χρόνια και καταλήγοντας τελικά το 2015 ο συγκριμένος λόγος να έχει φτάσει τα 75 χρόνια, σε συνδυασμό με τη ραγδαία αύξηση του αντίστοιχου λόγου η Κεντρική και Νότια Αμερική, η οποία το 1985 εμφάνιζε προσδόκιμο ζωής περίπου τα 45 έτη και το 2015 ο λόγος αυτός εκτοξεύτηκε στα 117 έτη.



Σχήμα 13: Χρονική εξέλιξη λόγων [αποδεδειγμένα αποθέματα/παραγωγή] πετρελαίου.³²

3.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων και μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Οι ΑΠΕ είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση την ενεργειακής ανεξαρτησίας και της αφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο διαφοροποιώντας τις πηγές προμήθειας.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των ΑΠΕ είναι ότι είναι άφθονες, ανεξάντλητες και περιβαλλοντικά καθαρότερες καθώς δεν απελευθερώνουν χημικές τοξικές ουσίες.

Στην κατηγορία των ΑΠΕ ανήκουν η *αιολική ενέργεια*, η *ηλιακή ενέργεια*, η *γεωθερμία*, η *βιομάζα*, η *ενέργεια της θάλασσας* και η *υδροηλεκτρική ενέργεια*.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Πίνακας 1: Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Φιλικά προς το περιβάλλον(δεν παράγονται απόβλητα)	Υψηλό κόστος εγκατάστασης
Ανεξάντλητα Καύσιμα	Μη σταθερή απόδοση
Εύκολη και φθηνή συντήρηση	Εξάρτηση από μετεωρολογικές συνθήκες
Μεγάλη διάρκεια ζωής	Εξάρτηση από γεωγραφική θέση
Αυτονομία περιοχών που είναι εκτός δικτύου	



3.4 Φυσικό Αέριο

Το φυσικό αέριο (natural gas) είναι ένα αέριο μίγμα υδρογονανθράκων που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4), περίπου 70-90% της κατά όγκο σύστασης του. Εκτός από το μεθάνιο περιέχει επίσης και άλλους υδρογονάνθρακες όπως

αιθάνιο (C_2H_6) περίπου 5-15% της σύστασης του. Το προπάνιο (C_3H_8) και το βουτάνιο (C_4H_{10}), συμμετέχουν συνήθως με λιγότερο του 5% στη σύσταση του φυσικού αερίου. Πολύ μικρά ποσοστά συμμετοχής έχουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το άζωτο (N_2), το υδρόθειο (H_2S), το νερό (H_2O), τα στερεά σωματίδια κ.α.

Γενικά, η σύσταση του φυσικού αερίου διαφέρει ανάλογα με την πηγή. Το φυσικό αέριο δεν έχει σταθερή σύσταση, αφού η σύνθεση του εξαρτάται από την προέλευση και το είδος της οργανικής ύλης από την οποία σχηματίστηκε.

Όσον αφορά τις φυσικές ιδιότητες, το φυσικό αέριο είναι άχρωμο άοσμο και μη τοξικό. Η χαρακτηριστική του οσμή δίνεται τεχνικά με ορισμένες ουσίες για σκοπούς ασφαλείας, ώστε να γίνεται αντιληπτό σε περιπτώσεις διαρροής. Ανήκει στη δεύτερη οικογένεια των αέριων καυσίμων, το ειδικό του βάρος είναι ίσο με 0,59 και είναι ελαφρύτερο από τον αέρα. Έτσι σε περιπτώσεις σε περίπτωση διαφυγής, ανέρχεται σε μεγάλο ύψος, αραιώνεται και καθίσταται μη επικίνδυνο. Το φυσικό αέριο επίσης έχει υψηλή θερμική απόδοση, σε σχέση με αυτή άλλων συμβατικών καυσίμων, όπως ο γαιάνθρακας ή το πετρέλαιο, παράγει μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας και κατά συνέπεια έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον.

Το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών και περιπτώσεων στο σπίτι, στις επιχειρήσεις και στη βιομηχανία ³³.

3.4.1 Κοιτάσματα

Το φυσικό αέριο έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία τις τελευταίες δεκαετίες. Τα μεγάλα κοιτάσματα φυσικού αερίου σε Σιβηρία, Μέση Ανατολή, Αλγερία και Ευρώπη οδηγούνται μέσω δικτύων αγωγών στις καταναλώτριες χώρες και συμβάλλουν σημαντικά στην ομαλή παροχή ενέργειας. Και στη Βόρειο Αμερική, τα κοιτάσματα φυσικού αερίου αποτελούν βασική πηγή ενέργειας για τον οικιακό και βιομηχανικό τομέα λόγω της ευκολίας χρήσης και της καθαρότητάς του ως καύσιμο. Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου σε απομακρυσμένες περιοχές είναι αξιοποιήσιμα μόνο εάν η τιμή αγοράς κάνει βιώσιμη τη διαδικασία υγροποίησης του φυσικού αερίου και μεταφοράς του με ειδικά πλοία στις χώρες κατανάλωσης. Το φυσικό αέριο υπάρχει ως "ξηρό", δηλαδή καθαρό μεθάνιο, και "υγρό" μεθάνιο δηλαδή με κυμαινόμενες αναλογίες βαρύτερων υδρογονανθράκων.

3.4.2 Αποθέματα

Τα βασικά συστατικά του φυσικού αερίου σχετίζονται συχνά με κοιτάσματα αργού πετρελαίου, ιδίως ως προς το σχηματισμό τους. Το πετρέλαιο και το αέριο βρίσκονται συχνά στα ίδια γεωλογικά στρώματα μιας περιοχής. Από την άλλη, η συνύπαρξη πετρελαίου και άνθρακα στα ίδια στρώματα μιας περιοχής είναι αδύνατη. Το ξηρό φυσικό αέριο που είναι κυρίως προϊόν της ανθρακοποίησης, μπορεί να βρεθεί δίπλα

και σε κοιτάσματα πετρελαίου. Η πλειονότητα των κοιτασμάτων φυσικού αερίου ανά τον κόσμο συνδέεται με κοιτάσματα πετρελαίου. Επικρατούν τα κοιτάσματα συνδυασμένου φυσικού αερίου, συχνά δίπλα σε μη σημαντικά από οικονομικής πλευράς κοιτάσματα πετρελαίου. Τα κοιτάσματα ξηρού φυσικού αερίου μπορεί να είναι αποτέλεσμα διαδικασιών εκλεκτικής μετανάστευσης. Ο σχηματισμός αερίου στα μητρικά πετρώματα γίνεται με διαφορετικό τρόπο από το σχηματισμό πετρελαίου²⁷.

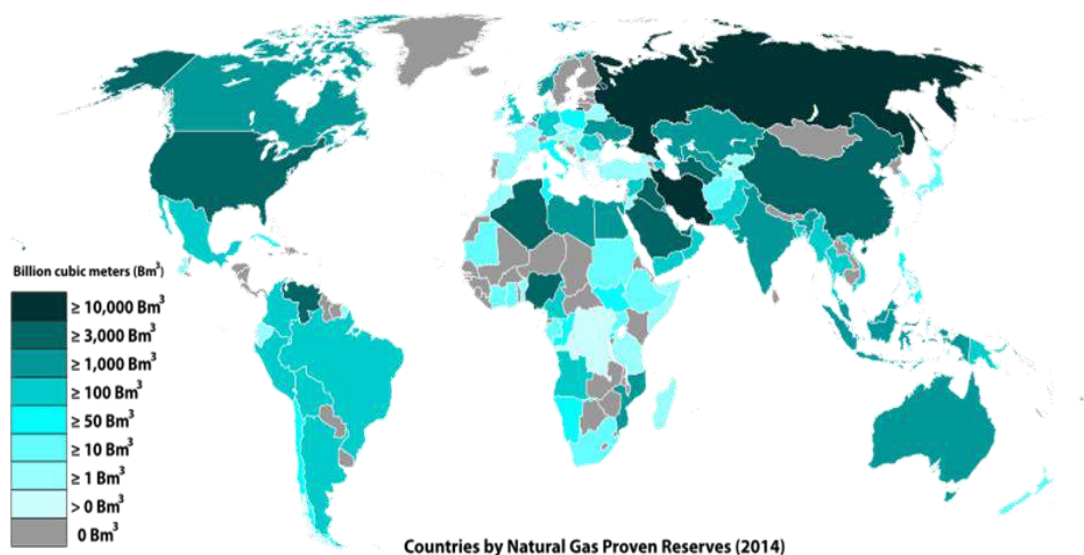
Η σημασία των παραγωγών χωρών φυσικού αερίου εξαρτάται από τα διαθέσιμα αποθέματα τους. Οι ετήσια παραγόμενες ποσότητες έχουν αυξηθεί ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης των δικτύων αγωγών φυσικού αερίου. Επίσης, η χρήση φυσικού αερίου έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον πολλών καταναλωτών λόγω της ευκολίας χρήσης και της καθαρότητας του ως καύσιμο. Τα μεγάλα κοιτάσματα καθιστούν πιο ελκυστική οικονομικά την επένδυση για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας και μεταφοράς του φυσικού αερίου. Η παραγωγή φυσικού αερίου δε σχετίζεται μόνο με τα διαθέσιμα αποθέματα. Για παράδειγμα το 2015 η παραγωγή της Βόρειας Αμερικής έφτασε τα 984 bcm με επιβεβαιωμένα αποθέματα στα 12,800 bcm, ενώ της Μέσης Ανατολής η παραγωγή ήταν στα 617,9 bcm και αποθέματα 80,000 bcm. Αυτή η διαφοροποίηση μεταξύ παραγωγής και αποθεμάτων οφείλεται στη διαφορετική ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς και διανομής. Τα μεγάλα κοιτάσματα φυσικού αερίου στις χώρες του Περσικού Κόλπου, τη Νιγηρία και την Ινδονησία αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της απόστασης από τις καταναλώτριες χώρες, οπότε απαιτείται η υγροποίηση του φυσικού αερίου για τη μεταφορά του. Λόγω της σχετικά μικρής χωρητικότητας των δεξαμενόπλοιων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου και των μεγάλων αποστάσεων που πρέπει να διανυθούν, η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου δεν είναι πάντοτε συμφέρουσα από οικονομική πλευρά.²⁷

Γεωγραφική κατανομή και αποθέματα φυσικού αερίου

Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου βρίσκονται συνήθως μακριά από τα κύρια κέντρα καταναλώσεως· συνεπώς πρέπει να μεταφερθεί, αν και οι βιομηχανίες χημικής επεξεργασίας είναι συχνά εγκατεστημένες στην περιοχή της παραγωγής. Η μεταφορά του φυσικού αερίου εξαρτάται από την κατάστασή του. Σε αέρια κατάσταση μεταφέρεται με αγωγούς υπό υψηλή πίεση, ενώ σε υγρή κατάσταση μεταφέρεται με πλοία.

Η Μέση Ανατολή κρατά τα σκήπτρα στην ύπαρξη αποδεδειγμένων κοιτασμάτων φυσικού αερίου με 42,8 τρις. κυβ. μέτρα. Ιδιαίτερα μεγάλα αποθέματα έχει και η ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ευρασίας με τα κοιτάσματα να φθάνουν τα 30,4 τρις. κυβ. μέτρα.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα αποδεδειγμένα αποθέματα φυσικού αερίου ανά τον κόσμο σε τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα και η κατανομή των αποθεμάτων είναι ανά ήπειρο ή περιοχή.



Σχήμα 14: Αποδεδειγμένα κοιτάσματα ανά χώρα.³⁴

- Η Μέση Ανατολή κατέχει την πρώτη θέση και στα αποδεδειγμένα κοιτάσματα φυσικού αερίου στον κόσμο έχοντας απόθεμα 80 δις. κυβ. μ. Την αμέσως επόμενη θέση με απόθεμα 66 δις. κυβ. μ. κατέχει η ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Ευρώπης και Ευρασίας.
- Η Ρωσία είναι η χώρα με το περισσότερο φυσικό αέριο στο υπέδαφος της με 50 δις. κυβ. μ. Οι χώρες που την ακολουθούν είναι το Ιράν (33,7), το Κατάρ (24), το Τουρκμενιστάν (10) και οι Η.Π.Α. (9,1).
- Η Νορβηγία είναι η χώρα με το περισσότερο φυσικό αέριο σε ολόκληρη την Ευρώπη με 2,3 δις. κυβ. μ.
- Η Νιγηρία (5,5) και η Αλγερία (4,5) οι χώρες με το περισσότερο φυσικό αέριο στην Αφρική.
- Παρατηρούμε ότι και η Αυστραλία κατέχει σημαντική ποσότητα φυσικού αερίου με 3,2 δις. κυβ. μ. Η Αυστραλία βέβαια παίζει καθοριστικό ρόλο στην αγορά του LNG.

Table 9.1

World proven natural gas reserves by country

(bn s cum)

	2012	2013	2014	2015	2016	% change 16/15
North America	11,121.0	11,725.5	11,212.4	11,385.1	11,385.1	-
Canada	1,660.0	1,700.0	2,028.0	2,180.7	2,180.7	-
United States	9,461.0	10,025.5	9,184.4	9,184.4	9,184.4	-
Latin America	7,971.4	7,997.8	7,980.8	7,982.9	7,876.4	-1.3
Argentina	316.0	328.0	332.0	341.0	325.0	-4.7
Bolivia	317.0	296.0	300.0	306.0	300.6	-1.6
Brazil	459.0	458.0	471.0	429.0	391.7	-8.7
Chile	41.0	41.0	40.0	40.0	40.0	-
Colombia	162.0	156.0	136.0	123.0	112.8	-8.3
Ecuador	6.4	6.0	10.9	10.9	10.9	-
Mexico	360.0	347.0	324.0	317.5	269.9	-15.0
Peru	389.0	425.8	413.9	399.0	384.2	-3.7
Trinidad & Tobago	375.0	340.0	325.0	305.0	288.8	-6.0
Venezuela	5,583.0	5,581.0	5,817.0	5,701.5	5,738.7	0.7
Others	13.0	13.0	12.0	11.0	12.0	9.1
Eastern Europe and Eurasia	64,831.0	65,327.1	65,795.8	66,291.7	66,291.1	-
Armenia	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	-
Azerbaijan	1,006.0	1,000.0	1,292.0	1,284.0	1,284.0	-
Kazakhstan	1,950.0	1,929.0	1,918.0	1,907.0	1,907.0	-
Poland	69.0	69.0	62.9	60.7	60.7	-
Romania	109.0	113.0	109.2	103.0	103.0	-
Russia	48,810.0	49,336.0	48,896.0	50,485.0	50,485.0	-
Turkmenistan	10,000.0	9,999.8	9,904.2	9,870.0	9,870.0	-
Ukraine	969.0	969.0	960.0	952.0	952.0	-
Uzbekistan	1,661.0	1,632.0	1,606.0	1,585.0	1,585.0	-
Others	27.0	26.2	27.3	27.0	26.4	-2.2
Western Europe	4,564.0	4,394.1	4,098.7	3,821.2	3,751.2	-1.8
Denmark	95.0	90.0	88.0	85.0	73.3	-15.0
Germany	71.0	62.5	51.2	48.4	45.5	-2.0
Italy	62.0	56.0	53.7	49.1	46.6	-5.0
Netherlands	1,072.0	969.0	864.0	773.0	799.3	3.4
Norway	2,685.0	2,654.0	2,547.0	2,445.1	2,362.0	-3.4
United Kingdom	451.0	452.0	407.0	333.0	326.0	0.9
Others	98.0	90.6	87.8	89.6	88.6	-
Middle East	80,131.0	80,087.0	80,102.2	79,419.3	80,040.4	0.8
Iran	33,780.0	34,020.0	34,020.0	33,500.0	33,721.2	0.7
Iraq	3,158.0	3,156.0	3,158.0	3,158.0	3,619.9	21.0
Kuwait	1,784.0	1,784.0	1,784.0	1,784.0	1,784.0	-
Oman	950.0	950.0	950.0	951.0	884.5	-5.0
Qatar	25,009.0	24,881.0	24,831.3	24,299.1	24,072.5	-0.9
Saudi Arabia	8,235.0	8,317.0	8,468.9	8,589.2	8,619.3	0.4
United Arab Emirates	6,091.0	6,091.0	6,091.0	6,091.0	6,091.0	-
Others	1,064.0	1,086.0	1,079.0	1,069.0	1,068.0	-
Africa	14,591.4	14,515.3	14,761.2	14,617.5	14,808.5	1.3
Algeria	4,504.0	4,504.0	4,504.0	4,504.0	4,504.0	-
Angola	275.0	275.0	308.1	308.1	308.1	-
Cameroon	152.0	144.0	154.0	153.0	153.0	-
Congo	126.0	121.0	116.0	115.0	115.0	-
Egypt	2,185.0	2,185.0	2,185.0	2,086.0	2,086.0	-
Gabon	27.0	26.0	25.5	25.5	25.5	-
Libya	1,549.0	1,506.0	1,504.9	1,504.9	1,504.9	-
Nigeria	5,118.4	5,107.1	5,324.0	5,284.3	5,475.2	3.6
Others	656.0	647.2	637.8	636.9	636.8	-
Asia and Pacific	16,493.0	16,562.2	16,107.6	16,244.2	16,386.4	0.9
Australia	3,727.0	3,769.0	3,215.0	3,205.0	3,205.0	-
Bangladesh	474.0	436.0	412.0	385.0	385.0	-
Brunei	268.0	269.7	263.0	258.0	258.0	-
China	3,051.0	3,200.0	3,275.0	3,438.8	3,610.7	5.0
India	1,331.0	1,355.0	1,427.0	1,499.0	1,489.2	-2.0
Indonesia	2,917.0	2,875.4	2,839.1	2,775.1	2,775.1	-
Malaysia	2,389.0	2,611.0	2,676.0	2,740.0	2,740.0	-
Myanmar	496.0	297.0	280.0	282.0	282.0	-
Pakistan	762.0	749.0	736.0	723.0	723.0	-
Thailand	258.0	238.3	219.8	219.5	219.5	-
Vietnam	220.0	216.0	211.0	207.0	207.0	-
Others	582.0	546.8	544.0	622.8	622.8	-
Total world	195,792.7	200,608.8	200,658.4	199,742.0	200,539.1	0.4
of which						
OPEC	95,159.7	95,656.1	95,367.5	94,759.4	95,576.2	1.0
OPEC percentage	47.6	47.4	47.7	47.4	47.7	-
OECD	20,150.0	20,639.1	19,250.5	19,088.7	18,970.5	-0.6
FSU	64,721.0	65,121.8	65,601.2	66,108.0	66,106.0	-

Notes: Figures as at year end

Σχήμα 15: Αποδεδειγμένα κοιτάσματα ανά χώρα.³⁵

3.4.3 Αποθήκευση

Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης αερίου είναι ενσωματωμένες στο σύστημα αγωγών για να ανταποκριθούν στους υψηλούς συντελεστές φορτίων με τους οποίους το

αέριο παράγεται και παραδίδεται από τους προμηθευτές στις απαιτήσεις των τελικών χρηστών, το οποίο ποικίλλει μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού, κατά τη διάρκεια της εβδομάδας, και από ώρα σε ώρα.

Προσδιορισμός των Απαιτήσεων Αποθήκευσης

Η ζήτηση φυσικού αερίου επηρεάζεται από πολλές διαφορετικές φυσικές και οικονομικές παραμέτρους. Επειδή οι μεγαλύτερες ποσότητες αερίου χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση χώρων, η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι η κρισιμότερη. Οι τυπικές μέσες καθημερινές παραδόσεις Q_{di} στη βορειοδυτική Ευρώπη ως συνάρτηση της θερμοκρασίας παρουσιάζονται στο *Σχήμα 16*. Η ζήτηση φυσικού αερίου αυξάνεται ως γραμμική συνάρτηση της μείωσης θερμοκρασίας και είναι σταθερή επάνω από ένα ορισμένο όριο θερμοκρασίας. Ο συσχετισμός αντιπροσωπεύεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$Q_{di} = Q_{dg} + m(t_l - t_i) \quad (1)$$

όπου

- Q_{di} η ημερήσια απαίτηση σε αέριο στη μέση ημερήσια θερμοκρασία t_i (kW·h/d),
- Q_{dg} η μέση ημερήσια τιμή βάσης απαίτησης σε αέριο (kW·h/d),
- t_l η οριακή θερμοκρασία για θέρμανση χώρων (°C),
- t_i η μέση ημερήσια θερμοκρασία για δεδομένη ημέρα (°C) και
- m η αύξηση των παραδόσεων ανά °C μείωση της θερμοκρασίας (kW·h/d·°C).

Η εξίσωση επιτρέπει επαρκείς προβλέψεις για τις ημερήσιες παραδόσεις αερίου.

Οι εγκαταστάσεις μεταφοράς, αποθήκευση και διανομής πρέπει, φυσικά, να είναι διαστασιολογημένες για το μέγιστο ημερήσιο φορτίο σχεδιασμού του συστήματος, που καθορίζεται από την εξίσωση (1). Ο λόγος μεταξύ της δυναμικότητας του συστήματος που προσδιορίζονται για συνθήκες μέγιστης φόρτισης και της χρησιμοποιούμενης δυναμικότητας είναι ένας κρίσιμος παράγοντας εμπορικής και οικονομικής σημασίας. Ο χρόνος χρησιμοποίησης ή το φορτίο συστημάτων εκφράζεται διαφορετικά σε διάφορες χώρες.

Στην Κεντρική Ευρώπη, υιοθετείται συχνά η έννοια του χρόνου χρησιμοποίησης που εκφράζεται στις ετήσιες ώρες χρησιμοποίησης ή τις ετήσιες ημέρες χρησιμοποίησης.

Ο χρόνος χρησιμοποίησης δίνεται από τις εξισώσεις (2) και (3):

Ώρες χρησιμοποίησης ανά έτος Ετήσιος όγκος αερίου / Ωριαίος όγκος αιχμής

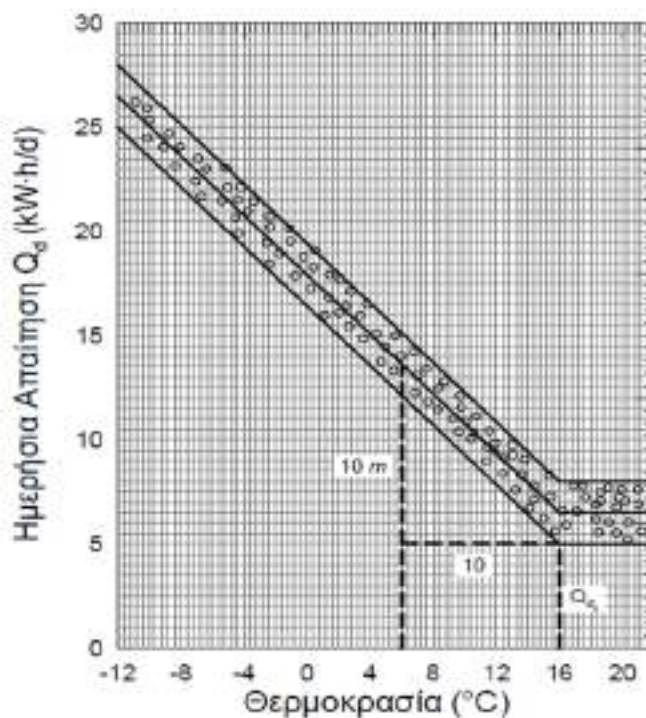
$$\text{Ώρες χρησιμοποίησης ανά έτος} = \text{Ετήσιος όγκος αερίου} / \text{Ωριαίος όγκος αιχμής} \quad (2)$$

$$\text{Ημέρες χρησιμοποίησης ανά έτος} = \text{Ετήσιος όγκος αερίου} / \text{Ημερήσιος όγκος αιχμής} \quad (3)$$

Στις Ηνωμένες Πολιτείες και τη Μεγάλη Βρετανία υπολογίζεται με την ίδια σχέση ο *συντελεστής φορτίου*. Σχετίζει τις ποσότητες που δίνονται στις σχέσεις (2) και (3) ως εξής:

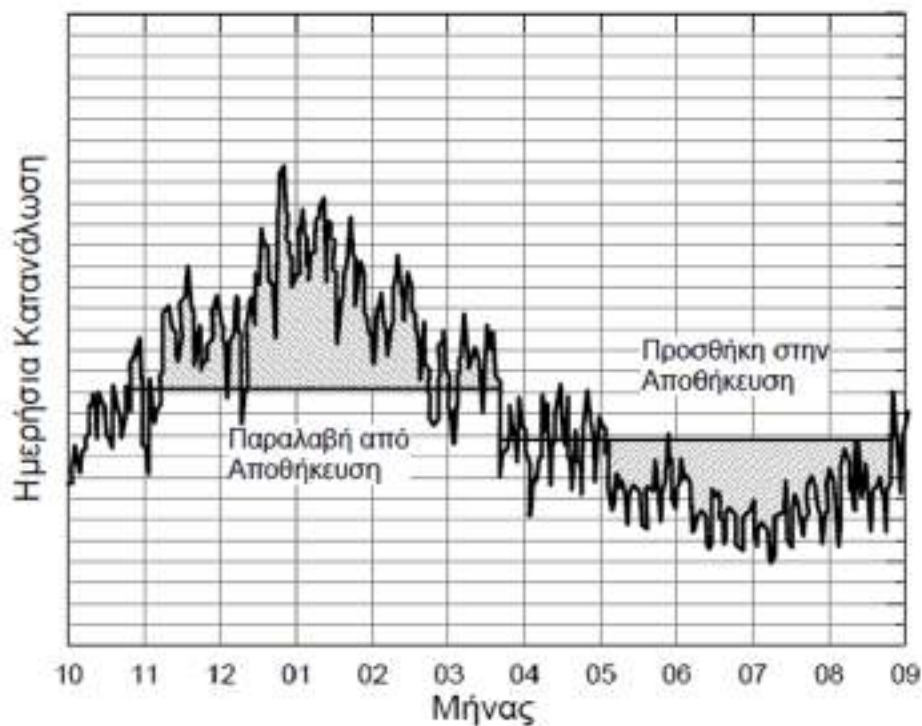
Συντελεστής φορτίου = Ετήσιος όγκος / (8760 Ωριαία ροή αιχμής)

Συντελεστής φορτίου = Ετήσιες ώρες χρησιμοποίησης / 8760 (4)



Σχήμα 16: Μέσες ημερήσιες παραδόσεις αερίου συναρτήσει της θερμοκρασίας 10 m (κλίση) = αύξηση στις παραδόσεις ανά βαθμό μείωσης θερμοκρασίας.²⁷

Ανεξάρτητα από το πραγματικό φορτίο του συστήματος, η μεταφορά η αποθήκευση, και οι εγκαταστάσεις διανομής πρέπει να σχεδιαστούν για επαρκείς προμήθειες αερίου ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος ή άλλες συνθήκες. Όσον αφορά τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης, οι παραδόσεις αερίου από την αποθήκευση πρέπει πάντα να είναι επαρκείς για να ικανοποιήσουν οποιαδήποτε ζήτηση σε περίσσεια των δυνατοτήτων του συστήματος μεταφοράς. Ο όγκος του αερίου που αποθηκεύεται πρέπει να είναι επαρκής να διατηρήσει αυτήν την παράδοση καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου για την οποία η απαίτηση υπερβαίνει τη δυνατότητα του συστήματος μεταφοράς. Έτσι, η απαραίτητη δυναμικότητα αποθήκευσης καθορίζεται από τη διαφορά μεταξύ της δυναμικότητας σχεδιασμού τροφοδοσίας και των απαιτήσεων παραδόσεων, καθώς επίσης και από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της περιόδου στην οποία ο ανεφοδιασμός είναι χαμηλότερος από τη ζήτηση. Ο όγκος του αερίου που απαιτείται για να ικανοποιήσει τη μέγιστη ζήτηση πρέπει να αποθηκευτεί από το πλεόνασμα των πεδίων τροφοδοσίας τομέων κατά τη διάρκεια περιόδων και ωρών εκτός αιχμής.



Σχήμα 17: Ημερήσια καμπύλη φορτίων που παρουσιάζει το αέριο που παραδόθηκε από την αποθήκευση και το αέριο που προστέθηκε στην αποθήκευση.²⁷

Συστήματα Αποθήκευσης

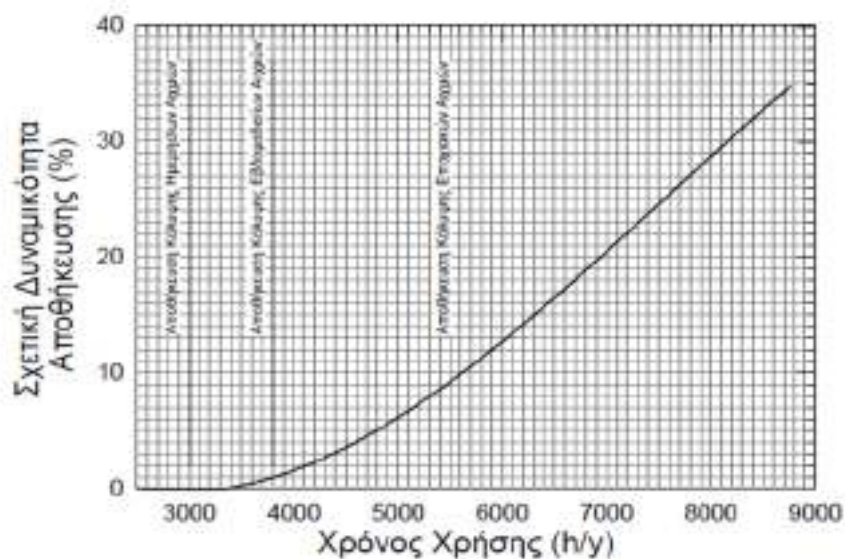
Η βιομηχανία αερίου χρησιμοποιεί διάφορα συστήματα για την αποθήκευση αερίου κατά τη διάρκεια περιόδων εκτός ωρών αιχμής και για να παραδώσουν το αέριο από την αποθήκευση για την εξυπηρέτηση αναγκών αιχμής. Χρησιμοποιούνται διαφορετικά συστήματα για την εξυπηρέτηση διαφορετικών αναγκών αιχμής. Η αποθήκευση αερίου σε δεξαμενές χαμηλής πίεσης έχει μειωθεί ουσιαστικά, επειδή η ποσότητα αερίου που αποθηκεύεται σε μια τέτοια εγκατάσταση είναι ανεπαρκής.

	Αιχμές Ζήτησης			Διαχειριστής συστήματος
	Ημερήσια	Εβδομαδιαία	Εποχιακή	
Δεξαμενές χαμηλής πίεσης	x			Τοπικές εταιρίες διανομής
Δεξαμενές υψηλής πίεσης	x	x		
Συσσώρευση στον αγωγό	x	Περιορισμένη		Περιφερειακές εταιρίες μεταφοράς
Σπήλαια, κοιτάσματα	Περιορισμένη	x	x	Υπερτοπικές εταιρίες μεταφοράς

Σχήμα 18: Καταλληλότητα των διάφορων συστημάτων αποθήκευσης για διαφορετικές ανάγκες αιχμής.²⁷

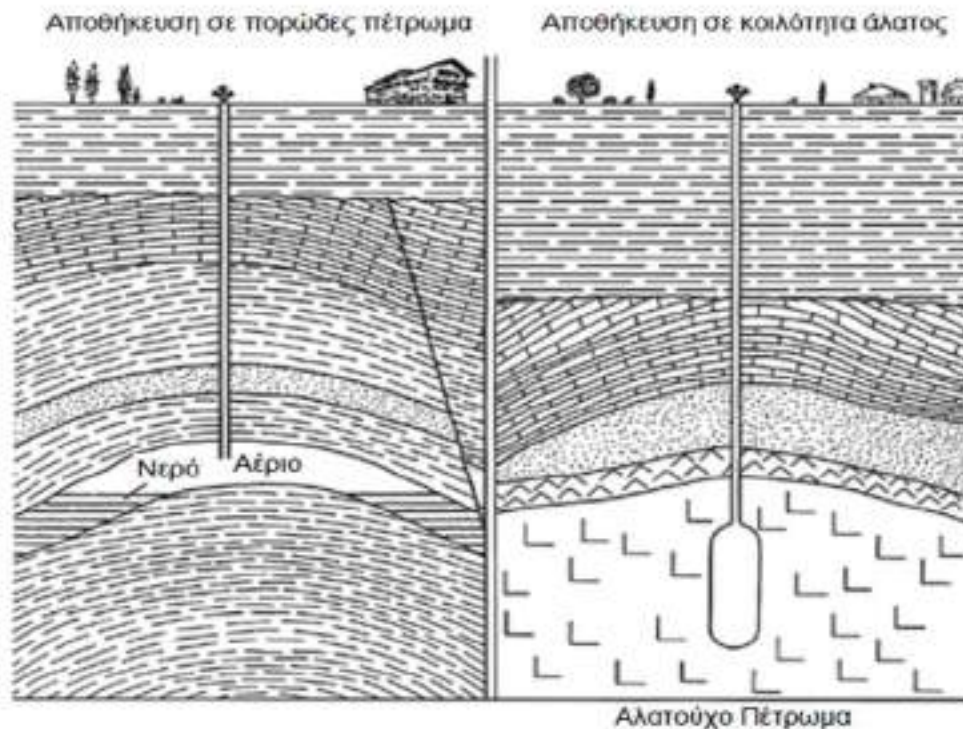
Συστοιχίες αγωγών αποθήκευσης ή σφαιρικές δεξαμενές αερίου στις οποίες το αέριο αποθηκεύεται σε υψηλή πίεση παρέχουν κάλυψη αναγκών αιχμής για ημερήσιες διακυμάνσεις και τις σύντομης διάρκειας αιχμές μέσα σε μια εβδομάδα. Οι σφαιρικές δεξαμενές αερίου λειτουργούν μεταξύ 0,6 και 1,6 MPa και μπορούν να έχουν διάμετρο ως 30 m. Αγωγοί που χρησιμοποιούνται για αποθήκευση μπορούν να αποθηκεύσουν αέριο σε πίεση ως 8 MPa.

Η συσσώρευση αερίου μέσα σε αγωγούς σε υψηλή πίεση, είναι μέθοδος για κάλυψη ημερησίων αιχμών. Για συσσώρευση σε αγωγό, ο αγωγός πρέπει να έχει μεγάλη διάμετρο και πρέπει να σχεδιαστεί για την υψηλή πίεση εργασίας. Η συσσώρευση σε αγωγούς είναι εφικτή μόνο εάν είναι διαθέσιμη στο σύστημα τουλάχιστον προσωρινή επιπλέον δυναμικότητα. Κανονικά, ο μηχανικός που σχεδιάζει συστήματα μεταφοράς υπολογίζει μια δυναμικότητα συσσώρευσης περίπου οκτώ φορές τη διαφορά μεταξύ της ωριαίας ροής παραδόσεων και της ωριαίας τροφοδοσίας αιχμής στο σύστημα. Αυτή η δυναμικότητα αντιστοιχεί σε περίπου σε 6 – 7% της ημερήσιας τροφοδοσίας. Οποιοσδήποτε απαίτησης αιχμές που δεν προβλέπονται σε περιφερειακό ή τοπικό επίπεδο πρέπει να αντιμετωπιστούν σε υπερτοπικό επίπεδο. Οι ποσότητες αερίου που πρέπει να αποθηκευτούν για κάλυψη εποχιακών αναγκών αιχμής είναι σημαντικές, και ουσιαστικά το μόνο σύστημα που μπορεί δεχτεί αυτούς τους αρκετά μεγάλους όγκους αερίου είναι οι μεγάλες υπόγειες εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Το Σχήμα 5.7 παρουσιάζει τη δυναμικότητα αποθήκευσης που πρέπει να δημιουργηθεί για να διαχειριστεί τις εποχιακές αιχμές φορτίων θέρμανσης χώρου ως συνάρτηση του συντελεστή φορτίων ανεφοδιασμού.



Σχήμα 19: Απαιτούμενη αποθηκευτική δυναμικότητα για κάλυψη εποχιακών αναγκών αιχμής συναρτήσει του σχήματος τροφοδοσίας.

Το αέριο αποθηκεύεται κάτω από το έδαφος σε κατάλληλους βραχώδεις σχηματισμούς (Σχήμα 20). Οι κατάλληλοι σχηματισμοί για την υπόγεια αποθήκευση αερίου περιλαμβάνουν πορώδη ή σχισματοειδή πετρώματα καθώς επίσης και τα σπήλαια που δημιουργούνται κατά την εξόρυξη αλατιού για παράδειγμα. Αυτοί οι σχηματισμοί πρέπει να καλυφθούν με αδιαπέραστα στρώματα για να αποτραπεί η διαφυγή του αερίου.



Σχήμα 20: Υπόγειες εγκαταστάσεις αποθήκευσης φυσικού αερίου.

Υπάρχουν οι ακόλουθοι τύποι υπόγειων εγκαταστάσεων αποθήκευσης:

- εξαντλημένα πεδία αερίου, πετρελαιοπηγές, και εγκαταστάσεις αποθήκευσης σε υδροφόρα στρώματα (αποθήκευση σε πορώδη πετρώματα)
- εγκαταστάσεις αποθήκευσης σε σπήλαια άλατος και
- σπήλαια διανοιγμένα από εγκαταστάσεις εξόρυξης (μόνο δευτερεύουσας σημασίας).

Οι υπόγειες εγκαταστάσεις αποθήκευσης διατηρούν και το αέριο λειτουργίας και το αέριο μαξιλαριού. Το αέριο λειτουργίας είναι το αέριο που μπορεί να παραχθεί από την αποθήκευση για τις λειτουργίες κάλυψης αναγκών αιχμής.

Το αέριο μαξιλαριού, που καλείται μερικές φορές και αέριο βάσης, είναι το αέριο που απαιτείται για να εξασφαλίσει ικανοποιητική πίεση αποθήκευσης για την ανάκτηση του αερίου λειτουργίας. Παρέχει την πίεση που απαιτείται για να ανακυκλώσει τον κανονικό όγκο αποθήκευσης αερίου λειτουργίας.

Αποθήκευση σε Πορώδη Πετρώματα: Το αέριο μπορεί να αποθηκευτεί κάτω από το έδαφος σε πορώδη πετρώματα. Ο βράχος πρέπει να έχει ικανοποιητικό πορώδες και διαπερατότητα, και ο ορίζοντας αποθήκευσης (που πρέπει να βρίσκεται σε ικανοποιητικό βάθος) πρέπει να καλυφθεί με συμπαγές στεγανοποιητικό και να είναι μια δομή που παγιδεύει το αέριο που εγχέεται στο βράχο. Οι δομές που

χρησιμοποιούνται για αποθήκευση σε πορώδη πετρώματα περιλαμβάνουν εξαντλημένα πεδία πετρελαίου και φυσικού αερίου καθώς επίσης και δομές υδροφόρων στρωμάτων. Η ανάπτυξη μιας εγκατάστασης αποθήκευσης αερίου σε ένα *εξαντλημένο πεδίο αερίου* δε δημιουργεί σημαντικό κίνδυνο επειδή είναι διαθέσιμα τα στοιχεία όσον αφορά τις ιδιότητες του πετρώματος και οι πληροφορίες για τη στεγανότητα του καλύμματος. Η δυναμικότητα σε αέριο λειτουργίας, η μέγιστη πίεση αποθήκευσης, και τα ποσοστά παράδοσης ως συνάρτηση της πίεσης της δεξαμενής είναι γνωστές από το ιστορικό παραγωγής του κοιτάσματος. Για αποθήκευση του αερίου σε *εξαντλημένες πετρελαιοπηγές*, απαιτούνται διαχωριστές πετρελαίου – αερίου. Όμως η δευτερογενής παραγωγή πετρελαίου με έγχυση αερίου κάνει συχνά τις εξαντλημένες πετρελαιοπηγές μια εμπορικά ελκυστική περιοχή αποθήκευσης.

Στην αποθήκευση σε *υδροφόρα στρώματα*, το νερό που βρίσκεται μεταξύ των πόρων εκτοπίζεται από το αέριο που εγχέεται σε υψηλή πίεση. Απαιτείται καλή γεωλογική και γεωμηχανική αξιολόγηση προκειμένου να αποφασιστεί εάν μια δομή υδροφόρου στρώματος είναι κατάλληλη για την υπόγεια αποθήκευση του αερίου: δηλαδή, πρέπει να αξιολογηθεί η δομή του πιθανού ορίζοντα αποθήκευσης, να καθοριστούν το πάχος το πορώδες, και η διαπερατότητα του πετρώματος και να ελεγχθεί το πάχος του αδιαπέραστου στρώματος.

Αποθήκευση σε Σπήλαια Άλατος: Το αέριο μπορεί επίσης να αποθηκευτεί σε σπήλαια που έχουν διανοιχτεί σε βράχους άλατος. Αντίθετα από τον όγκο ενός φυσικού πετρώματος αποθήκευσης, ο όγκος αυτών των κυλινδρικά διαμορφωμένων σπηλαίων μπορεί να ελεγχθεί μέσα σε συγκεκριμένα όρια. Η διάμετρος ενός τέτοιου σπηλαίου μπορεί να είναι ως 80 m και το ύψος του ως 400 m. Ο όγκος των σπηλαίων μπορεί να φθάσει τα 500.000 m³.

Η δυναμικότητα των εγκαταστάσεων αποθήκευσης σε σπήλαια μπορεί να προσαρμοστεί σε αυξανόμενες ανάγκες αποθήκευσης με την προσθήκη περαιτέρω σπηλαίων σε έναν δεδομένο σχηματισμό ανάλογα με τις απαιτήσεις. Ο όγκος αερίου μαξιλαριού που απαιτείται για τη λειτουργία ενός σπηλαίου αποθήκευσης είναι πολύ χαμηλότερος από τον όγκο αερίου βάσης σε ένα πορώδες πέτρωμα και μπορεί να ανέλθει σε μόνο 20% της συνολικής δυναμικότητας. Τα σπήλαια αποθήκευσης επιτρέπουν την παραγωγή και την έγχυση αερίου σε πολύ υψηλούς ρυθμούς που περιορίζονται κυρίως από τη δυναμικότητα των υπέργειων εγκαταστάσεων. Στα σπήλαια αποθήκευσης άλατος, μπορεί να εμφανιστεί σύγκληση επειδή οι λειτουργίες αποστράγγισης και η αυξομείωση πίεσης μετά την εκκίνηση λειτουργίας προκαλούν καταπόνηση στο πέτρωμα. Κατά συνέπεια, ρέει αλάτι μέσα στο σπήλαιο, και μειώνει τον όγκο του. Μέσα σε όρια, η σύγκληση μπορεί να ελεγχθεί με τη διατήρηση μιας ελάχιστης ποσότητας αερίου στο σπήλαιο.

3.4.4 Εξόρυξη και Μεταφορά

Εξάγεται από υπόγειες κοιλότητες στις οποίες βρίσκεται υπό υψηλή πίεση. Σε αυτές τις κοιλότητες το φυσικό αέριο σχηματίστηκε με τρόπο παρόμοιο με τον τρόπο σχηματισμού του πετρελαίου. Η διαδικασία της εξόρυξης του φυσικού αερίου δημιουργεί μεγάλες κοιλότητες στο έδαφος. Οι κοιλότητες αυτές οδηγούν σε αύξηση της πίεσης του εδάφους και μπορεί να προκαλέσουν τη βύθισή του. Για το λόγο αυτό η εξόρυξη και η μεταφορά πρέπει να πραγματοποιούνται με καλή διαχείριση και σε συνδυασμό με τον έλεγχο του περιβάλλοντος.

Μεταφέρεται προς τους τόπους όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί όπως είναι, χωρίς την ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας. Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου βρίσκονται συνήθως μακριά από τα κύρια κέντρα καταναλώσεως, συνεπώς πρέπει να μεταφερθεί, αν και οι βιομηχανίες χημικής επεξεργασίας είναι συχνά εγκατεστημένες στην περιοχή της παραγωγής. Η μεταφορά του φυσικού αερίου εξαρτάται από την κατάστασή του. Σε αέρια κατάσταση μεταφέρεται με αγωγούς υπό υψηλή πίεση, ενώ σε υγρή κατάσταση μεταφέρεται με πλοία. Οι μεγάλοι αγωγοί υψηλής πίεσης καθιστούν δυνατή τη μεταφορά του αερίου σε απόσταση χιλιάδων χιλιομέτρων. Παραδείγματα τέτοιων αγωγών είναι οι αγωγοί της Βόρειας Αμερικής, που εκτείνονται από το Τέξας και τη Λουϊζιάνα μέχρι τη βορειοανατολική ακτή και από την Αλμπέρτα ως τον Ατλαντικό. Αγωγοί επίσης εκτείνονται από τη Σιβηρία μέχρι την Κεντρική και Δυτική Ευρώπη. Οι έρευνες για πετρέλαιο έχουν αποκαλύψει την ύπαρξη μεγάλων κοιτασμάτων αερίου στην Αφρική, Μέση Ανατολή, Αλάσκα και αλλού. Η μεταφορά από τέτοιες περιοχές γίνεται με πλοία. Το αέριο υγροποιείται στους -160 βαθμούς Κελσίου και μεταφέρεται, όπως το πετρέλαιο, με δεξαμενόπλοια ειδικά κατασκευασμένα για τον σκοπό αυτό. Ένα κυβικό μέτρο υγρού φυσικού αερίου αντιστοιχεί σε 600 κυβικά μέτρα αερίου σε ατμοσφαιρική πίεση. Το ειδικό βάρος του υγρού αερίου είναι σχετικά χαμηλό (περίπου 0.55).

3.4.5 Σχιστολιθικό Φυσικό Αέριο

Το σχιστολιθικό αέριο είναι φυσικό αέριο που βρίσκεται εγκλωβισμένο σε σχιστολιθικά πετρώματα στο υπέδαφος και ανήκει στα μη συμβατικά φυσικά αέρια.

Ο σχιστόλιθος είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα ιζηματογενή πετρώματα που βρίσκονται στο υπέδαφος και αποτελεί μια δεξαμενή φυσικού αερίου. Μέχρι πριν από μερικά χρόνια ήταν ασύμφορη η διαδικασία απόσπασης του αερίου από τον σχιστόλιθο, μέχρι που αναπτύχθηκε η μέθοδος της υδραυλικής ρωγμάτωσης. Με τη μέθοδο αυτή διοχετεύονται μέσω αγωγών και υπό υψηλότατη πίεση στα σχιστολιθικά στρώματα νερό, άμμος και χημικές ουσίες. Προκαλείται έτσι ρωγμάτωση ή διάρρηξη των πετρωμάτων και απελευθερώνεται το αέριο, το οποίο συλλέγεται στη συνέχεια από τους αγωγούς.

Τα τέσσερα βήματα της εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου:

1. Εξορύσσεται κάθετο φρεάτιο μέχρι το στρώμα στο οποίο βρίσκεται το αέριο.
2. Στη συνέχεια δημιουργείται οριζόντιο φρεάτιο που διατρέχει όλο το στρώμα.
3. Κατά μήκος του οριζόντιου φρεατίου η εκτόξευση μίγματος νερού (90%), άμμου (9,5%) και άλλων χημικών όπως οξέα, χλωρίδα και άλατα (0,5%) δημιουργεί εγκάρσιες ρωγμές που η ίδια η πίεση του νερού διατηρεί ανοιχτές επιτρέποντας τη ροή του αερίου.
4. Μετά την εξαγωγή του αερίου η πίεση πέφτει και το νερό, με όλες τις προσμίξεις, αναβλύζει στην επιφάνεια της γης.

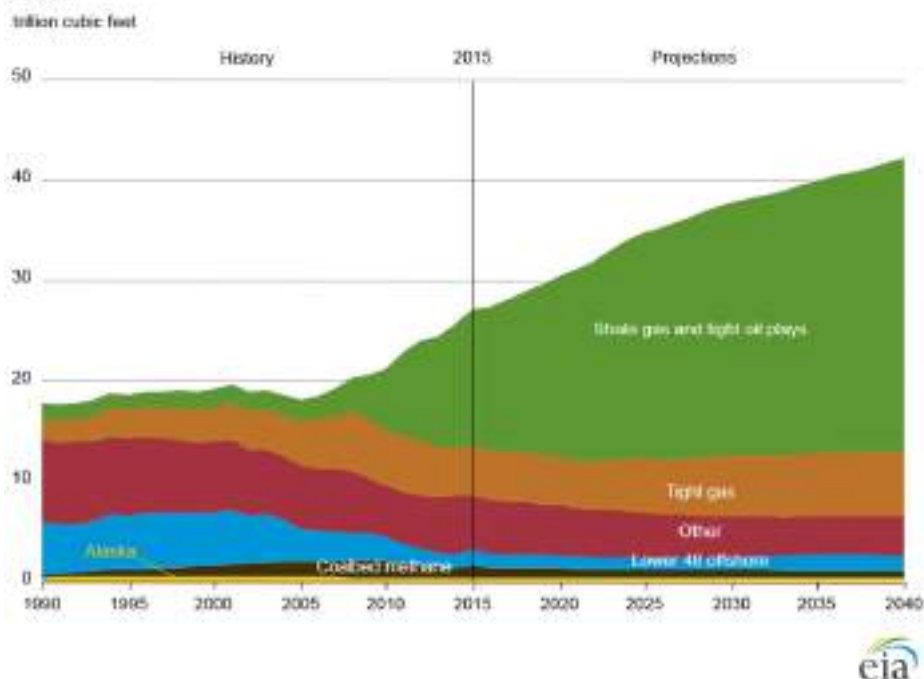


Σχήμα 21: Βήματα εξόρυξης σχιστολιθικού αερίου.³⁶

Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ήδη ευρέως στις ΗΠΑ, όπου από τα 88 δισ. κυβικά μέτρα φυσικού αερίου προερχόμενου από σχιστόλιθο το 2010, έφτασαν τα 430 δισ. κυβικά μέτρα το 2015³⁷, καλύπτοντας ήδη από τότε το 10% της εγχώριας κατανάλωσης αερίου. Ειδικά την τελευταία διετία η εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου στις ΗΠΑ αναπτύσσεται με ταχύτατο ρυθμό, χωρίς προς το παρόν να ακολουθούν με την ίδια ζέση οι άλλες χώρες.

Πλέον το σχιστολιθικό αέριο στις Η.Π.Α. αποτελεί το βασικότερο είδος αερίου που εξάγεται καλύπτοντας περίπου το 50% της συνολικής παραγωγής αερίου.

Figure MT-46. U.S. dry natural gas production by source in the Reference case, 1990–2040



Σχήμα 22: Είδη φυσικού αερίου στις Η.Π.Α. 1990-2040.

Η νέα τεχνολογία άντλησης φυσικού αερίου και πετρελαίου από σχιστολιθικά πετρώματα, θέτει νέα δεδομένα στον παγκόσμιο ενεργειακό χάρτη. Το σχιστολιθικό αέριο (shale gas) και το σχιστολιθικό πετρέλαιο (shale oil) έχουν προβληθεί τα τελευταία χρόνια ως πολλά υποσχόμενες ενεργειακές πηγές, καθώς νέες πηγές ενέργειας και περισσότεροι προμηθευτές, διαμορφώνουν προϋποθέσεις μεγαλύτερης ενεργειακής ασφάλειας στις χώρες που παραδοσιακά εξαρτώνται από τις εισαγωγές καυσίμων. Ο σχιστόλιθος είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα ιζηματογενή πετρώματα και είναι γνωστό ότι αποτελεί μια δεξαμενή φυσικού αερίου. Ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά το 1821, πολύ πριν το πετρέλαιο, το οποίο ανακαλύφθηκε το 1859. Πριν από μερικά χρόνια όμως η υπάρχουσα τεχνολογία καθιστούσε ασύμφορη τη διαδικασία απόσπασης του αερίου από τον σχιστόλιθο, μέχρι που αναπτύχθηκε, σχετικά πρόσφατα, η μέθοδος της υδραυλικής ρωγμάτωσης (fracking). Με τη μέθοδο αυτή διοχετεύονται μέσω αγωγών, υπό υψηλότερη πίεση στα σχιστολιθικά στρώματα νερό, άμμος και διάφορες χημικές ουσίες που προκαλούν ρωγμάτωση ή διάρρηξη των πετρωμάτων (σε βάθος έως και τα 3Km). Έτσι απελευθερώνεται το φυσικό αέριο (ή το πετρέλαιο) το οποίο στη συνέχεια συλλέγεται από τους αγωγούς.

Πλεονεκτήματα

Στα υπέρ αυτής της τεχνολογίας θεωρείται το χαμηλότερο κόστος εξόρυξης (άρα και η τιμή διάθεσης), συγκριτικά με τις τιμές του συμβατικού φυσικού αερίου. Επιπλέον, καθώς ο σχιστόλιθος υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες στον κόσμο, μπορεί να συμβάλει

στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από τους παραδοσιακούς εξαγωγείς ενέργειας. Οι χώρες με τα μεγαλύτερα αποθέματα σχιστολιθικού αερίου είναι οι εξής: Κίνα, ΗΠΑ, Αργεντινή, Μεξικό, Νότιος Αφρική, Αυστραλία, Καναδάς, Λιβύη, Μ. Βρετανία, Αλγερία, Βραζιλία, Πολωνία, Γαλλία (κατά σειρά δυνητικών αποθεμάτων). Στην παρούσα φάση όμως, μόνο οι ΗΠΑ και ο Καναδάς αντλούν (αέριο και πετρέλαιο) από τα σχιστολιθικά πετρώματα καθώς εξελίσσουν την τεχνολογία εξόρυξης, από το 2000.

Μειονεκτήματα

Πολλοί επιστήμονες, περιβαλλοντολογικές οργανώσεις, τοπικές κοινωνίες, ακόμη και κράτη, υποστηρίζουν ότι η εν λόγω μέθοδος εξόρυξης εγκυμονεί πολλούς κινδύνους τόσο για το φυσικό περιβάλλον όσο και για τη δημόσια υγεία.

Πέρα από τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εγκατάστασης της εξορυκτικής δραστηριότητας (μεγάλοι δρόμοι και εγκαταστάσεις, που οδηγούν σε αποψίλωση περιοχών), το πρώτο πρόβλημα αφορά τις μεγάλες απαιτήσεις σε νερό. Κι αυτό παρότι μέρος του νερού επαναχρησιμοποιείται, αλλά μέχρι ενός ορίου. Το πιο σημαντικό είναι ότι στο υγρό ρωγμάτωσης υπάρχει πλήθος χημικών προσθέτων (στα οποία περιλαμβάνονται και τοξικές, αλλεργιογόνες, μεταλλαξιογόνες και καρκινογόνες ουσίες), ενώ το νερό που επιστρέφει στην επιφάνεια μπορεί να περιέχει επιπλέον μεθάνιο, βαρέα μέταλλα και ραδιενεργές ουσίες. Οι ποσότητες αυτές ύδατος καταλήγουν τελικά στο περιβάλλον προκαλώντας ρύπανση των επιφανειακών ή υπόγειων υδάτων.

Επίσης, καθ' όλη την παραγωγική διαδικασία εκπέμπονται *ατμοσφαιρικοί ρύποι*, όπως διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, οξείδια του άνθρακα λόγω καύσης, ενώ τοξικές χημικές ουσίες εκλύονται λόγω εξάτμισης μέσω των λυμάτων. Η μεγάλη κατανάλωση καυσίμων κατά την έρευνα, την εξόρυξη και την επεξεργασία του σχιστολιθικού αερίου οδηγεί στην έκλυση στην ατμόσφαιρα διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), ενώ συχνά παρατηρούνται και ανεξέλεγκτες εκπομπές μεθανίου από την ίδια τη ρωγμάτωση. Σύμφωνα με ορισμένες έρευνες, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μέσω της χρήσης σχιστολιθικού αερίου, είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη του κλασικού φυσικού αερίου, ενώ μπορεί να ξεπερνά και 20% την καύση άνθρακα (Πανεπιστήμιο Κορνέλ ΗΠΑ).

Ακόμη υποστηρίζεται ότι λόγω της παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων αερίων θερμοκηπίου (μεθάνιο), μπορεί να προκληθούν σε ορισμένες περιπτώσεις *μικροσεισμοί*³⁸.

3.4.6 Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)

Ο κύριος λόγος για την υγροποίηση του φυσικού αερίου είναι η κατά 600 φορές μείωση του όγκου λόγω της αλλαγής φάσης (αέριο σε υγρό). Στη φυσικά επικρατούσα αέρια φάση, το φυσικό αέριο είναι μία ογκώδης πηγή ενέργειας, η οποία είναι μερικές φορές δύσκολη στο χειρισμό. Η αποθήκευση του αερίου απαιτεί τεράστια υπόγεια σπήλαια ή μεγάλες συμπυκνσόμενες δεξαμενές αποθήκευσης. Η μεταφορά του φυσικού αερίου από τις πηγές παραγωγής στα σημεία κατανάλωσης απαιτεί μεγάλα δίκτυα αγωγών. Κατά συνέπεια, μπορούν να εξεταστούν μόνο χερσαίες ή σχετικά μικρές υποθαλάσσιες διαδρομές. Τέλος, το φυσικό αέριο σε ατμοσφαιρική πίεση είναι πάρα πολύ ογκώδες για να θεωρηθεί ως καύσιμο για λόγους μεταφορών και πρέπει κατ' ελάχιστο, να συμπιεστεί.

Η υγροποίηση του φυσικού αερίου χρησιμοποιείται για να υπερνικήσει αυτά τα εμπόδια και επιτρέπει τη μεταφορά του σε μεγαλύτερες αποστάσεις και εφαρμογή του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) ως πηγή ενέργειας. Παραδείγματος χάρη, το LNG που παράγεται στη Μέση Ανατολή καλύπτει περίπου το 10% της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας της Ιαπωνίας. Η αποθήκευση LNG κοντά σε αστικές περιοχές επιτρέπει την κάλυψη των αναγκών αιχμής σε φυσικό αέριο χωρίς να απαιτηθεί η κατασκευή πρόσθετων αγωγών που τις περισσότερες φορές θα ήταν υποχρησιμοποιημένες.

Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο είναι ένα εφικτό καύσιμο μεταφορών για στόλους φορτηγών και λεωφορείων. Όμως, πιο πρόσφατες εφαρμογές σε αεροσκάφη και σιδηροδρόμους έδειξαν ότι απαιτείται υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας για το LNG ώστε η εφαρμογή να είναι εμπορικά βιώσιμη.

Φυσικές Ιδιότητες

Στην ονοματολογία της ενεργειακής βιομηχανίας, το LNG είναι στο ελαφρύ άκρο του φάσματος των υγροποιημένων αερίων που περιλαμβάνει επίσης τα υγρά φυσικού αερίου (NGL, κυρίως αιθάνιο με λίγο προπάνιο) και τα υγροποιημένα αέρια πετρελαίου (LPG, το οποίο αποτελείται κυρίως από προπάνιο και βουτάνιο). Κοινό χαρακτηριστικό για κάθε ένα από αυτά τα προϊόντα είναι η έλλειψη ενός τυποποιημένου συνόλου φυσικών ιδιοτήτων. Εντούτοις, είναι δυνατοί και χρήσιμοι ορισμένοι χαρακτηρισμοί του LNG.

Επειδή το μεθάνιο είναι το βασικό συστατικό του, το σημείο βρασμού του LNG σε ατμοσφαιρική πίεση είναι περίπου -160°C . Το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι άχρωμο και άοσμο. Ίχνη μολυσματικών ουσιών, ειδικά υδραργύρου, μπορούν να καταστήσουν το LNG διαβρωτικό, εάν δεν αφαιρούνται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια του προκαθαρισμού και των διεργασιών υγροποίησης. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι ένα εμπορικό προϊόν, έτσι η ανάγκη να αποφευχθεί η στερεοποίηση των μολυσματικών ουσιών είναι απαίτηση των

προδιαγραφών για περιβαλλοντικά αποδεκτά καύσιμα. Επομένως, οι μολυσματικοί παράγοντες όπως υδρατμός, διοξείδιο του άνθρακα και οι ενώσεις θείου που μπορεί να υπάρχουν στο φυσικό αέριο, γενικά δεν υπάρχουν στο LNG. Ομοίως, το σχετικά χαμηλό σημείο βρασμού του LNG περιορίζει τη μέγιστη συγκέντρωση πεντανίου και βαρύτερων υδρογονανθράκων που μπορεί να υπάρξει στην υγρή φάση.

Παραγωγή

Λόγω της υψηλής κρίσιμης πίεσης του μεθανίου, το LNG παράγεται οικονομικά με ψύξη και όχι με συμπίεση. Υπάρχει διαθέσιμη μία σειρά διεργασιών για εμπορική παραγωγή LNG. Κοινή για όλες τις διεργασίες υγροποίησης φυσικού αερίου είναι η ανάγκη για προκατεργασία του αερίου τροφοδοσίας για την αφαίρεση των συστατικών που είτε θα πάγωναν, εμποδίζοντας έτσι τη ροή της διεργασίας, είτε να προκαλέσουν ρύπανση κατά την καύση του εξατμισμένου LNG.

Αποθήκευση

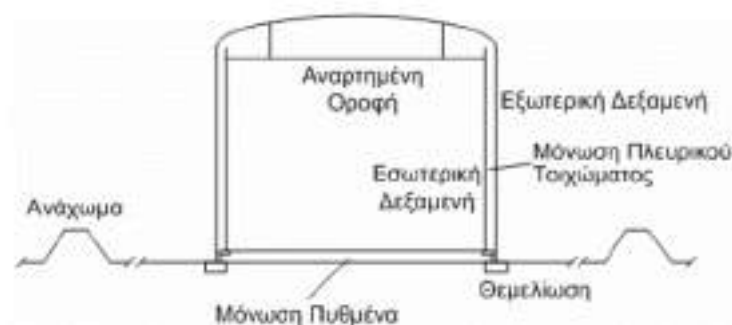
Οι δεξαμενές αποθήκευσης LNG είναι ένα σημαντικό μέρος και για τις εγκαταστάσεις βασικού φορτίου και για τις εγκαταστάσεις αναγκών αιχμής. Επιπλέον, αποτελούν σημαντικό μέρος της επένδυσης των τερματικών εγκαταστάσεων παραλαβής LNG. Λόγω του υψηλού κόστους αυτών των μονάδων και σπουδαιότητάς τους στη συνολική ασφάλεια των εγκαταστάσεων LNG, έχει δοθεί μεγάλη προσοχή στο σχεδιασμό των δεξαμενών LNG.

Ένα από τα πρώτα θέματα που τέθηκαν στο σχεδιασμό των δεξαμενών LNG ήταν στην επιλογή κατάλληλων υλικών. Η αστοχία της δεξαμενής στο Cleveland, Ohio το 1944 αποδόθηκε στη χρήση χάλυβα με 3,5% νικέλιο που έγινε εύθραυστος στη θερμοκρασία του LNG. Μετά από αυτό το συμβάν, μεγάλης κλίμακας προγράμματα έχουν αποδείξει την καταλληλότητα του χάλυβα με 9% νικέλιο, των ανοξείδωτων χαλύβων και ορισμένων κραμάτων αργιλίου (σειρά 5000) για κατασκευή δεξαμενών LNG. Οι δεξαμενές από κράματα αργιλίου είναι συνήθως περιορισμένους μεγέθους, επειδή ο συντελεστής θερμικής διαστολής του αργιλίου είναι περίπου διπλάσιος αυτού του χάλυβα. Σε μεγάλες δεξαμενές, τέτοια θερμική μετακίνηση κατά τη διάρκεια της ψύξης θα μπορούσε να οδηγήσει σε αστοχία των δεξαμενών.

Τα σχέδια των δεξαμενών έχουν εξελιχθεί επίσης δεδομένου ότι έχουν εφαρμοστεί περισσότερο περίπλοκες αναλύσεις δεδομένων ασφαλείας στις εγκαταστάσεις LNG. Οι αρχικοί σχεδιασμοί προέβλεπαν μία εσωτερική κρυογενική δεξαμενή υγρού που εντός μιας εξωτερικής δεξαμενής που περιείχε το σύστημα μόνωσης για την εσωτερική. Σε μερικά σχέδια η εξωτερική δεξαμενή περιείχε αέριο άζωτο που, με τη σειρά της, ήταν συνδεδεμένη με μία δεξαμενή μεταβλητού όγκου ή με μεμβράνες, η οποία αντισταθμίζει τις αλλαγές στον όγκο του αζώτου λόγω των αλλαγών στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, αποφεύγοντας έτσι τη συμπίεση ή την αποσυμπίεση

της εξωτερικής δεξαμενής. Σε άλλα σχέδια, η στέγη της εσωτερικής δεξαμενής δεν ήταν στεγανή, αλλά μερικώς υποστυλωμένη μόνωση και η εξωτερική δεξαμενή χρησίμευε ως μία αποθήκη φυσικού αερίου (βλ. Σχήμα 23). Και στα δύο σχέδια οι εξωτερικές δεξαμενές κατασκευάζονταν από κοινό χάλυβα άνθρακα και περιβάλλονταν από ένα χαμηλό ανάχωμα, για να συγκρατήσει τις όποιες διαρροές LNG.

Αναλυτικές μελέτες έδειξαν ότι ο πρωτεύων κίνδυνος ασφαλείας με μία διαρροή LNG είναι ο σχηματισμός ενός μεγάλου νέφους ατμών του προϊόντος που μπορεί να παρασυρθεί, αναφλεγεί και να προκαλέσει εκτεταμένη ζημιά. Τα επόμενα σχέδια ενσωμάτωσαν υλικά εξωτερικής δεξαμενής λιγότερο επιρρεπή σε αστοχία στις κρυογονικές θερμοκρασίες και υψηλότερα αναχώματα που χτίστηκαν πιο κοντά στις δεξαμενές. Αυτά τα μέτρα οδηγούν σε μικρότερη ελεύθερη επιφάνεια για οποιαδήποτε διαρροή LNG από μία αστοχία δεξαμενών και επομένως ένα χαμηλότερο ρυθμό τροφοδοσίας του επακόλουθου νέφους ατμών.



Σχήμα 23 :Σχηματική απλοποιημένη διατομή μιας απλής δεξαμενής αποθήκευσης LNG.

Οι εξωτερικές δεξαμενές κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα με περίβλημα από ανοξείδωτο χάλυβα. Τέλος, κατασκευάζονται αναχώματα ύψους όσο και η δεξαμενή, για να προστατεύσουν τη δεξαμενή από εξωτερική ζημιά και για να βοηθήσουν στην υποθετική ασύμμετρη φόρτιση της εξωτερικής δεξαμενής ως αποτέλεσμα καταστροφικής αστοχίας της εσωτερικής δεξαμενής. Όπου η περιοχή είναι πάρα πού μικρή για να επιτρέψει την πλήρη ανάπτυξη των αναχωμάτων, χρησιμοποιείται είτε κατασκευή δεξαμενής μέσα στο έδαφος, ή η πρόσθετη ενίσχυση της εξωτερικής δεξαμενής.

Μεταφορά

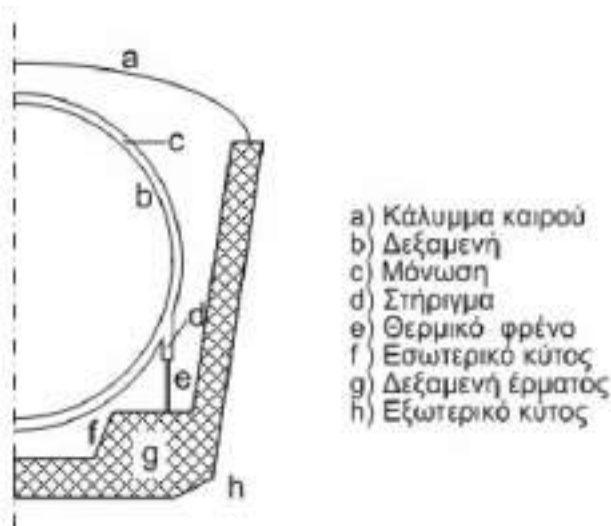
1) Κάλυψη Αναγκών αιχμής

Οι εγκαταστάσεις LNG κάλυψης αναγκών αιχμής συνήθως ατμοποιούν Το LNG από τις δεξαμενές και το διοχετεύουν στο δίκτυο διανομής. Εντούτοις, σε μερικές εγκαταστάσεις, το LNG αποθηκεύεται μερικώς μόνο και ατμοποιείται για να διοχετευτεί στο δίκτυο. Αυτές οι δορυφορικές εγκαταστάσεις παραλαμβάνουν LNG

από άλλες περιοχές παραγωγής, το οποίο μεταφέρεται με κατάλληλα οχήματα. Τα συγκεκριμένα οχήματα είναι παρόμοια με εκείνα που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές υγρού αζώτου και οξυγόνου και αποτελούνται από μία εσωτερική κρυογενική δεξαμενή και μία εξωτερική προστατευτική δεξαμενή από μη κρυογενικό υλικό. Το κενό μεταξύ των δεξαμενών, τυπικά γεμίζει με μόνωση από διογκωμένο περλίτη και εκκενώνεται σε υποατμοσφαιρική πίεση, ώστε να μειωθεί περαιτέρω η διαρροή θερμότητας.

2) Εγκαταστάσεις Βασικού Φορτίου

Οι εγκαταστάσεις LNG βασικού φορτίου συνδέονται με τις αντίστοιχες τερματικές εγκαταστάσεις τροφοδοσίας με στόλους ειδικών δεξαμενόπλοιων. Τα σύγχρονα δεξαμενόπλοια έχουν μεταφορική ικανότητα ως 125.000 m³ LNG. Κάθε δεξαμενόπλοιο χρησιμοποιεί ένα από τα διάφορα συστήματα αποθήκευσης, τα οποία μπορούν να διακριθούν σε τρεις κύριους τύπους. Ένα σχέδιο χρησιμοποιεί **μη σταθερές σφαιρικές δεξαμενές** που υποστηρίζονται σε κυλινδρικά στηρίγματα (βλ. Σχήμα 24). κάθε δεξαμενή είναι μονωμένη και τοποθετημένη μεταξύ των διαφραγμάτων σε ένα χωριστό τμήμα του σκάφους. τα διαμερίσματα αυτά καλύπτονται με αδρανές αέριο άζωτο, Το οποίο δειγματούζεται περιοδικά για να ανιχνευτεί οποιαδήποτε διαρροή LNG.

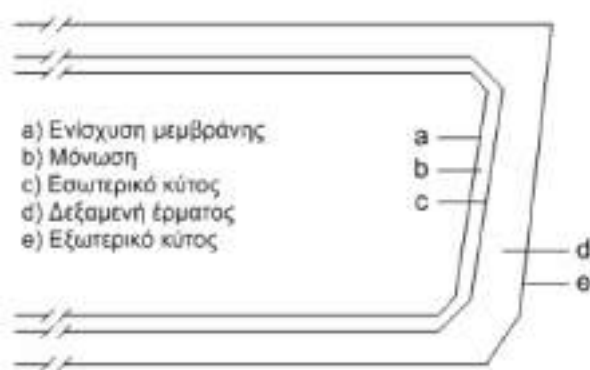


Σχήμα 24: Σφαιρική δεξαμενή πλοίου.

Μία δεύτερη οικογένεια σχεδιασμών είναι οι δεξαμενές **με μεμβράνες**. Στα σκάφη που χρησιμοποιούν αυτόν τον τύπο, εφαρμόζονται στο κύτος του σκάφους η μόνωση και η δευτερογενής φραγή (βλ. Σχήμα 3). Η μόνωση μεταβιβάζει επίσης το φορτίο από το φορτίο LNG στο κύτος και τη δομή του σκάφους. Μια μεταλλική μεμβράνη συγκράτησης εγκαθίσταται έπειτα πάνω από την επιφάνεια της μόνωσης. Η

μεμβράνη μπορεί να αποτελείται από Invar (χάλυβας υψηλής περιεκτικότητας σε μέταλλα με εξαιρετικά χαμηλό συντελεστή της θερμικής διαστολής) ή από μια δομή τύπου “βάφλας” (φτιαγμένη από νικελιούχο χάλυβα), όπου η διατομή της βάφλας επιτρέπει τη δισδιάστατη μεταφορά θερμότητας διατηρώντας την επαφή με τη φέρουσα μόνωση. Οι δεξαμενές με μεμβράνες χωρίζονται επίσης σε διαμερίσματα και επιτρέπουν αποδοτικότερη χρήση του όγκου αποθήκευσης του κύτους. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι η επίπεδη κορυφή γέφυρα και το χαμηλότερο κέντρο βάρους, ενώ οι σφαιρικές δεξαμενές επεκτείνονται επάνω από το κατάστρωμα και απαιτούν θολωτά καλύμματα.

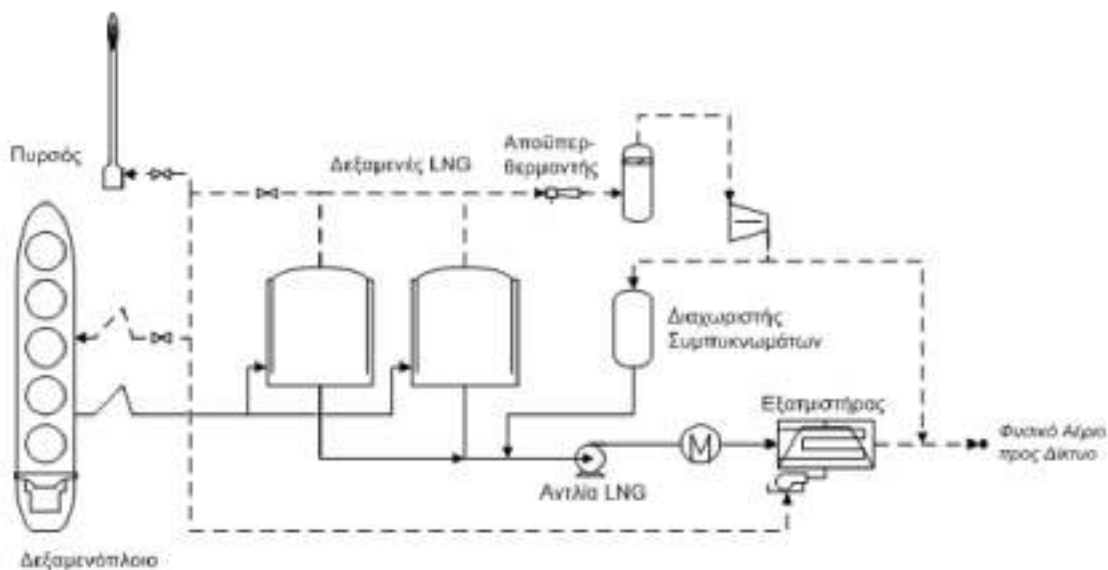
Ένας τρίτος τύπος δεξαμενόπλοιων LNG χρησιμοποιεί *μη μόνιμες πρισματικές* δεξαμενές. Αυτός ο σχεδιασμός επιδιώκει να συνδυάσει την αποδοτική χρήση του κενού μεταξύ των κυτών με τη δομική ανεξαρτησία μιας αυτοστηριζόμενης δομής. Διάφορα σκάφη στο παρελθόν ναυπηγήθηκαν με αυτόν τον τύπο σχεδιασμού, αλλά είναι σχετικά ακριβά και με εξαίρεση δύο μικρότερα σκάφη για τη μεταφορά Αλάσκας – Ιαπωνίας, δεν υιοθετείται στα νεότερα δεξαμενόπλοια.



Σχήμα 25 Δεξαμενή πλοίου με μεμβράνη.

3) Εγκαταστάσεις Παραλαβής LNG

Οι εγκαταστάσεις παραλαβής LNG κατασκευάζονται για να παραλάβουν τις ποσότητες LNG που αποστέλλονται από τις εγκαταστάσεις υγροποίησης φυσικού αερίου. Περιλαμβάνουν τις απαραίτητες λιμενικές εγκαταστάσεις, σωληνώσεις μεταφοράς, αποθήκες LNG, και όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για την εξάτμιση και συμπίεση του φυσικού αερίου, πριν αυτό αποσταλεί προς τον κεντρικό αγωγό φυσικού αερίου, ή τους τελικούς καταναλωτές (μονάδες βασικού φορτίου). Μία τυπική εγκατάσταση παραλαβής LNG φαίνεται στο Σχήμα 26.



Σχήμα 26: Διάγραμμα εγκατάστασης παραλαβής LNG.

Οι γραμμές μεταφοράς LNG διατηρούνται σε χαμηλή θερμοκρασία με ανακυκλοφορία ποσότητας LNG από τις δεξαμενές αποθήκευσης. Έτσι απάγεται η θερμότητα που εισέρχεται από το περιβάλλον στις γραμμές μεταφοράς.

Η αέρια φάση που εξατμίζεται μέσα στη δεξαμενή βρίσκεται σε ισορροπία με την υγρή φάση. Η περίσσεια οδηγείται μέσω του απουπερθερμαντή στο συμπιεστή, όπου και συμπιέζεται και οδηγείται στον αγωγό διασύνδεσης με τον κεντρικό αγωγό ή τους καταναλωτές. Η εξάτμιση του LNG πραγματοποιείται σε εναλλάκτες θερμότητας που λειτουργούν με θαλασσινό νερό ως θερμαντικό μέσο, καθώς και σε εξατμιστήρες, όπου καίγεται μέρος της αέριας φάσης από τις δεξαμενές αποθήκευσης και από την παραγόμενη θερμότητα θερμαίνεται το ενδιαμέσο ρευστό που χρησιμοποιείται τελικά για την εξάτμιση. Οι εναλλάκτες θερμότητας με θαλασσινό νερό έχουν πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας, αλλά υψηλό κόστος εγκατάστασης και έχουν σχετικά περιορισμένη δυναμικότητα σε σχέση με τους κλασικούς εξατμιστήρες.

Θέματα Ασφαλείας

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο μπορεί να αντιμετωπισθεί ως μία δημιουργία της σύγχρονης εποχής, και υπό αυτήν τη μορφή, έχει υποβληθεί σε πιο λεπτομερή διερεύνηση από τα παραδοσιακά καύσιμα όπως η βενζίνη και το πετρέλαιο. Οι κίνδυνοι που συνδέονται με το LNG είναι ότι είναι ένα ρευστό χαμηλής θερμοκρασίας, είναι εύφλεκτο και μπορεί να δημιουργήσει νέφη ατμών αρκετά πυκνά που να προκαλέσουν ασφυξία. Επειδή κανένα από αυτά δεν είναι πρόβλημα όταν το LNG περιέχεται σε κατάλληλα σχεδιασμένες δεξαμενές αποθήκευσης ή σωληνώσεις και εξοπλισμό, οι μελέτες ασφαλείας έχουν εστιάσει κυρίως στις διαρροές LNG. Στις εγκαταστάσεις LNG, υπάρχουν εκτενή συστήματα ασφάλειας για να ανιχνεύσουν διαρροές αερίου, να ανιχνεύσουν και να αντιμετωπίσουν πυρκαγιές

και να ανιχνεύσουν καπνό. Πρόληψη και συγκράτηση διαρροών είναι αυτονόητη κατά το σχεδιασμό εγκαταστάσεων, ιδιαίτερα δεξαμενών αποθήκευσης επειδή αυτές περιέχουν τη μεγαλύτερη ποσότητα LNG.

Εάν μία διαρροή LNG αναφλεγεί σύντομα αφότου εμφανιστεί, εμφανίζεται φωτιά δεξαμενής. Αυτή η πυρκαγιά είναι βεβαίως ένα πρόβλημα, αλλά εγκλωβίζεται σε μία εγκατάσταση επανδρωμένη και εξοπλισμένη να αντιμετωπίσει τέτοιες έκτακτες ανάγκες. Μία μεγαλύτερη ανησυχία είναι ότι στην ίδια διαρροή μπορεί να δοθεί αρκετός χρόνος ώστε να εξατμιστεί και να διαμορφώσει ένα νέφος ατμών που μπορεί να μεταφερθεί σε κάποια απόσταση πριν την ανάφλεξη. Διάφορες μεταβλητές όπως η φύση της επιφάνειας κάτω από τη διαρροή, η ταχύτητα αέρα και η παρουσία εμποδίων στο νέφος συμβάλλουν στη μορφή και την κατεύθυνσή του. Μηχανικά το σύννεφο σχηματίζεται καθώς το LNG βράζει πάνω από την επιφάνεια της διαρροής. Οι προκύπτοντες ατμοί είναι πολύ πιο κρύοι από τον αέρα και διαμορφώνουν αρχικά ένα πυκνό νέφος που παραμένει σε χαμηλό ύψος. Δεδομένου ότι το νέφος αναμιγνύεται με τον αέρα και θερμαίνεται από το περιβάλλον του, αρχίζει να ανυψώνεται. Ο αέρας χρησιμεύει στο να προσθέσει την οριζόντια συνιστώσα στην κίνηση του νέφους. Δεδομένου ότι ο αέρας αναμιγνύεται με το φυσικό αέριο, το μίγμα γίνεται εύφλεκτο (δηλαδή, η σύσταση τοπικά είναι μεταξύ του άνω και του κάτω ορίου αναφλεξιμότητας του LNG). Τα όρια αναφλεξιμότητας ποικίλλουν με τη σύσταση του LNG, ιδιαίτερα με το ποσοστό του προπανίου. Αυτό το νέφος είναι έπειτα ενδεχομένως επικίνδυνο σε περιοχές πέρα από τα όρια των εγκαταστάσεων LNG.

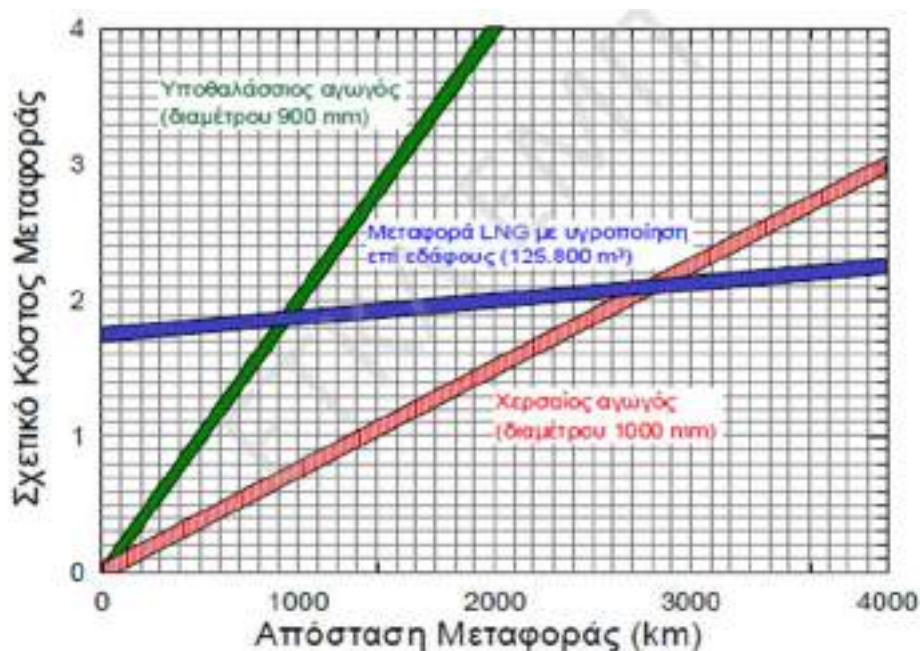
Διάφορες δοκιμές μεγάλης κλίμακας έχουν καταδείξει ορισμένα χαρακτηριστικά των πυρκαγιών νεφών ατμών LNG. Αυτές οι πυρκαγιές είναι πολύ γρήγορες καύσεις στις οποίες το μέτωπο φλόγας που κινείται μέσω του νέφους προηγείται ενός αδύνατου, αποζευγμένου ωστικού κύματος. Υπάρχει ένας συνοδευτικός κίνδυνος ακτινοβολίας, αλλά όχι η πιεστική δύναμη ενός ωστικού κύματος που εμφανίζεται όταν εκτονώνονται μίγματα άλλων υδρογονανθράκων με αέρα.

Μεταφορά

Αν και η απαιτούμενη ενέργεια για την υγροποίηση του φυσικού αερίου είναι ουσιαστική, το πλεονέκτημα του όγκου καθιστά οικονομικά βιώσιμη την υγροποίηση. Το κρυογενικό LNG μεταφέρεται με δεξαμενόπλοια LNG σε ατμοσφαιρική πίεση. Οι δεξαμενές είναι μονωμένες για να ελαχιστοποιήσουν την εξάτμιση. Εντούτοις, το ποσοστό εξάτμισης είναι μεταξύ 0,2 και 0,25% του φορτίου ανά ημέρα. Το αέριο που εξατμίζεται χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει με καύσιμο τους κινητήρες του πλοίου. Η επανυγροποίηση δεν είναι προς το παρόν βιώσιμη.

Η μεταφορά LNG είναι συχνά ο μόνος τρόπος μεταφοράς φυσικού αερίου από απομακρυσμένα πεδία παραγωγής στις χώρες κατανάλωσης. Οποιαδήποτε σύγκριση

κόστους μεταξύ μεταφοράς LNG και μεταφοράς μέσω αγωγών πρέπει, φυσικά, να συνδεθεί με τις απαιτήσεις του έργου. Γενικά, μία εγκατάσταση LNG είναι η μόνη απάντηση εάν η μεταφορά με αγωγό δεν είναι εφικτή για τεχνικούς ή άλλους λόγους ή εάν η απόσταση είναι αρκετά μεγάλη. Το κόστος της μεταφοράς LNG είναι χαμηλότερο από αυτό των υποθαλάσσιων αγωγών μεταφοράς ακόμη και για αποστάσεις αρκετών εκατοντάδων χιλιομέτρων, ενώ η μεταφορά με χερσαίους αγωγούς είναι σχεδόν πάντα φθηνότερη από τη μεταφορά LNG εκτός αν η απόσταση είναι εξαιρετικά μεγάλη. Μια σύγκριση του κόστους μεταφοράς LNG και της μεταφοράς μέσω αγωγών δίνεται στο παρακάτω Σχήμα 5.



Σχήμα 27: Κόστος μεταφοράς LNG και κόστος μεταφοράς με αγωγούς συναρτήσει της απόστασης μεταφοράς.

- a) Υποθαλάσσιος αγωγός (διαμέτρου 900 mm)
- b) Μεταφορά LNG με υγροποίηση επί εδάφους (125.800 m³)
- c) Χερσαίος αγωγός (διαμέτρου 1000 mm) ²⁷

4 Διερεύνηση θεμάτων ενεργειακής ασφάλειας φυσικού αερίου στην Ευρώπη μέσω μοντελοποίησης του δικτύου αγωγών

Στο κεφάλαιο αυτό το ενδιαφέρον στρέφεται στη μοντελοποίηση του δικτύου των αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου στην Ευρώπη και κρίνεται απαραίτητη η λεπτομερής μελέτη του υφιστάμενου δικτύου για τη ρεαλιστική του μοντελοποίησή του.

4.1 Ζήτηση

Αγορά Φυσικού Αερίου

Η πρόοδος στο χώρο του Φ.Α. εκτός από την Ευρώπη έχει αρχίσει να σημειώνεται και σε άλλα μέρη. Η Κίνα, η οποία ήδη παράγει μια μορφή μη συμβατικού φυσικού αερίου (coalbed methane) δεν έχει σχεδόν καθόλου αγγίξει τα αποθέματά της σε σχιστόλιθο, τα οποία ίσως ξεπερνούν και αυτά των ΗΠΑ. Δεν είναι τυχαίο ότι οι κρατικές επιχειρήσεις ξεκίνησαν να συνεργάζονται με ξένες εταιρίες για να θεραπεύσουν αυτό το ελάττωμα. Το Διεθνές Ινστιτούτο Ενέργειας πιστεύει ότι η παραγωγή αερίου στην Κίνα θα μπορούσε να φτάσει τα 480 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα έως το 2035 από τα οποία τα 390 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα θα προέρχονται από μη συμβατικές πηγές ενέργειας.

Οι αγορές αερίου λειτουργούν είτε σε εθνικό είτε σε περιφερειακό επίπεδο. Η διαφορά αυτή οφείλεται στα έξοδα για τη μεταφορά του αερίου. Η μεταφορά του από ήπειρο σε ήπειρο που συνήθως δεν διαθέτουν αγωγούς για μεταξύ τους διασύνδεση απαιτεί την μετατροπή σε υγροποιημένο αέριο (LNG) και τερματικά υγροποίησης. Έτσι οι αγορές αερίου μοιάζουν με αυτές του πετρελαίου πριν την έλευση των μεγάλων τάνκερ, τα οποία κατέβασαν σημαντικά το μεταφορικό κόστος και οδήγησαν στην παγκοσμιοποίηση του προϊόντος.

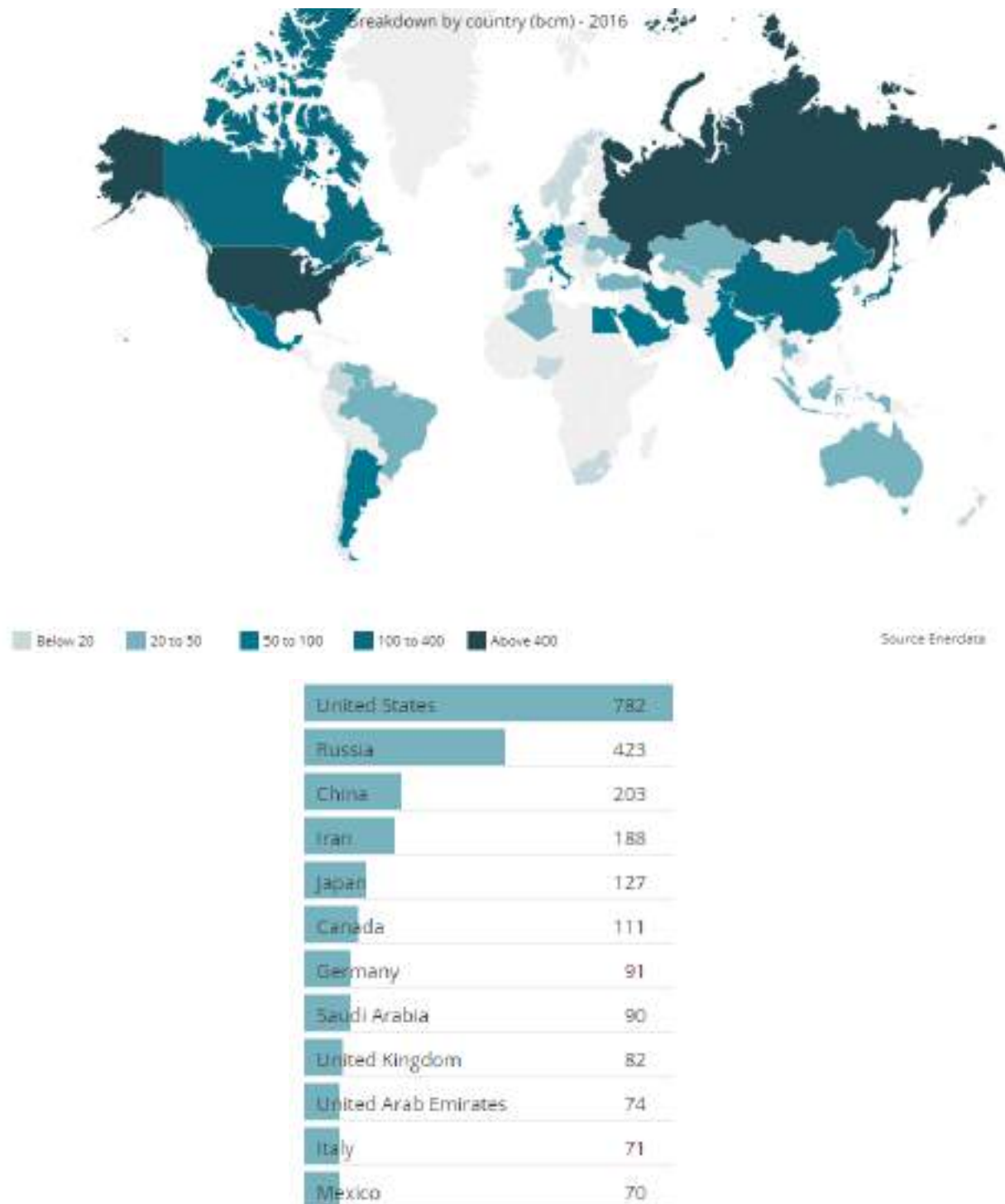
Ωστόσο, οι αναλυτές πιστεύουν ότι οι δυνατότητες και το εμπόριο του LNG θα μεγαλώσει καθώς οι παραγωγοί θα ωφεληθούν από τις υψηλές τιμές του αερίου σε Ευρώπη και Ασία. Καθώς αυτό θα συμβαίνει, οι τιμές ανάμεσα στις περιοχές του κόσμου θα αρχίσουν να συγκλίνουν ακόμη περισσότερο και θα χρειαστούν χρόνια πριν τα κόστη μεταφοράς του LNG υποχωρήσουν αρκετά ώστε να έχουμε μία μόνο κοινή τιμή αερίου.

Τάσεις ζήτησης φυσικού αερίου

Σήμερα το φυσικό αέριο καλύπτει περίπου το 23% της παγκόσμιας κατανάλωσης σε ενέργεια, το 2014 το ποσοστό αυτό ανερχόταν σε 21.2%, ενώ το 1973 ήταν μόλις 16%.

Παρατηρεί κανείς την ανοδική πορεία του ποσοστού συμμετοχής του κερδίζοντας έδαφος από τη μείωση το αντίστοιχου ποσοστού του πετρελαίου.

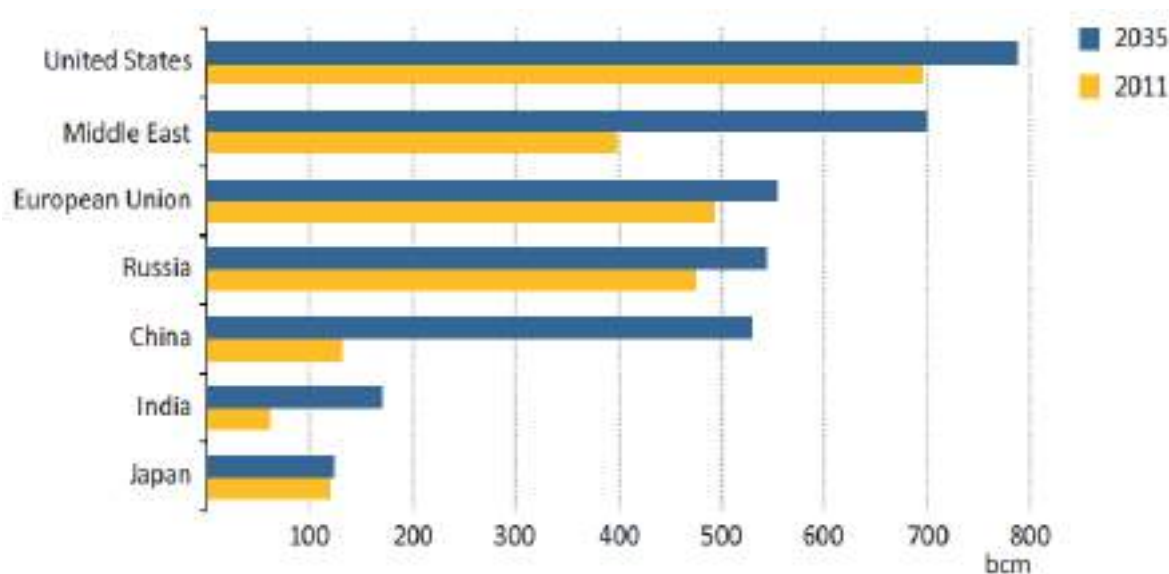
Στο παρακάτω Σχήμα παρουσιάζεται ο παγκόσμιος χάρτης και αντίστοιχα στοιχεία για την κατανάλωση του φυσικού αερίου για το έτος 2016, με πρωταγωνιστές την ΗΠΑ, τη Ρωσία και την Κίνα.



Σχήμα 28: Παγκόσμιος χάρτης κατανάλωσης Φυσικού Αερίου³⁹

Σύμφωνα με το New Policies Σενάριο, οι πιο ταχεία αναπτυσσόμενες αγορές φυσικού αερίου βρίσκονται εκτός ΟΟΣΑ. Αυτές αντιπροσωπεύουν πάνω από τα τρία τέταρτα της παγκόσμιας αύξησης πρωτογενούς ζήτησης την περίοδο έως το 2035, με την μεγαλύτερη αύξηση σε απόλυτο μέγεθος να συμβαίνει στην Κίνα και την Μέση Ανατολή. Η κατανάλωση αυξάνει, όμως ο ρυθμός ανάπτυξης είναι μικρότερος στις τρεις κύριες περιοχές του ΟΟΣΑ, λόγω κορεσμού και της μεγάλης διείσδυσης των ΑΠΕ στον χώρο της ενέργειας στην Ευρώπη. Παρόλα αυτά οι αγορές αυτές παραμένουν συγκριτικά μεγάλες.

Η κατάσταση στην Ευρώπη έχει επηρεαστεί από πολλαπλούς παράγοντες. Έχουν επιδράσει κυρίως το αδύναμο οικονομικό περιβάλλον, οι υψηλές τιμές φυσικού αερίου, η χαμηλή τιμή άνθρακα, η διείσδυση των ΑΠΕ και τα ενεργειακά μέτρα και πολιτικές που έχουν παρθεί τα τελευταία χρόνια. Ο τομέας παραγωγής ηλεκτρισμού κατέχει ηγετικό ρόλο και εξαρτάται από τη στενή σχέση τιμών αερίου και άνθρακα. Λόγω των περιβαλλοντικών εκπομπών πολλοί σταθμοί άνθρακα αναμένεται να κλείσουν τα επόμενα χρόνια, καθώς υπάρχει παράλληλη πτωτική τάση του αριθμού των πυρηνικών εγκαταστάσεων. Αυτά θα βοηθήσουν την άνοδο του αερίου. Όμως ταυτόχρονα εγείρονται σημαντικά ερωτήματα κυρίως ως προς την παρουσία των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρισμού και αν αυτές θα καταφέρουν να εκτοπίσουν μέρος του Φ.Α.



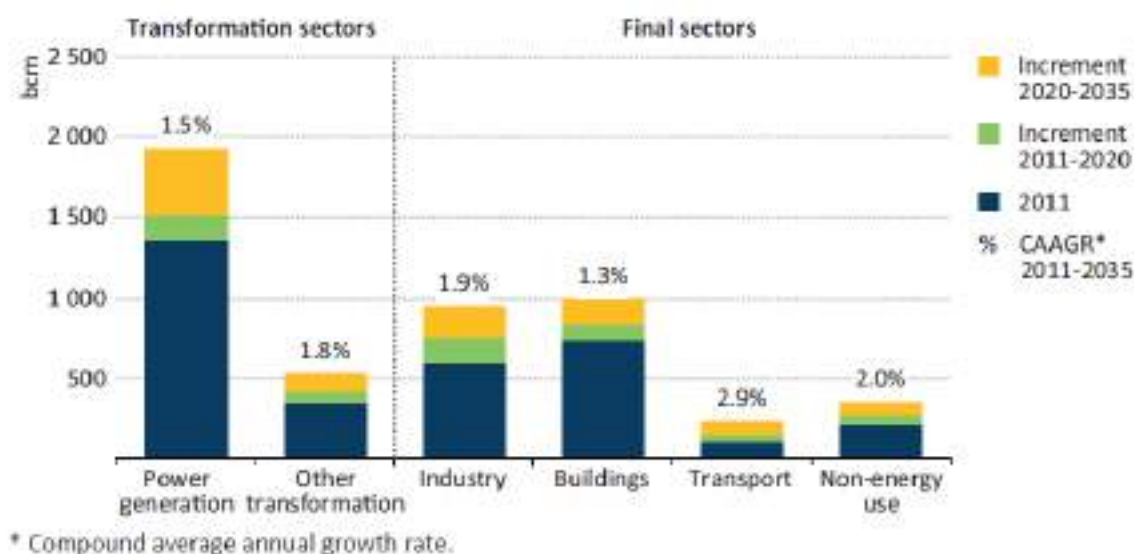
Σχήμα 29: Η ζήτηση Φυσικού Αερίου σύμφωνα με το New Policies Σενάριο για το έτος 2035.⁴⁰

Τάσεις ζήτησης φυσικού αερίου ανά τομέα

Σε παγκόσμιο επίπεδο το φυσικό αέριο στον τομέα παραγωγής ηλεκτρισμού, είτε χρησιμοποιούμενο ως πρώτη ύλη, είτε ως μέσο για την εξόρυξη πετρελαίου, αυξάνεται τα επόμενα χρόνια πάνω από το μισό, φτάνοντας τα 300bcm. Ακόμη η

χρήση του αερίου στη βιομηχανία θα αυξηθεί, με τη μεγαλύτερη αύξηση να συμβαίνει περίπου πριν το 2025. Το ένα τρίτο της αύξησης έως το 2035 προέρχεται από την Κίνα, με τη ζήτηση να αυξάνεται ραγδαία (14% ετησίως κατά μέσο όρο) έως το 2020. Οι απαιτήσεις αερίου στον τομέα των κατασκευών (κατοικίες και εμπορική χρήση) αυξάνονται στις χώρες του ΟΟΣΑ (κατά 0.7% κάθε έτος), αλλά ο κορεσμός περιορίζει τη δυνατότητα για περισσότερη χρήση αερίου.

Ο ταχύτερα προβλεπόμενος ρυθμός αύξησης της χρήσης φυσικού αερίου βρίσκεται στον τομέα των μεταφορών, με το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης να προέρχεται από τις οδικές μεταφορές. Οι τεχνολογίες είναι αρκετά ανεπτυγμένες και ο αριθμός των οχημάτων NGVs (Natural Gas Vehicles) αυξήθηκε από 1.3 εκατ. το 2000 σε 13.7 εκατ. το 2012. Τα δύο τρίτα των NGV σήμερα βρίσκονται σε χώρες εκτός ΟΟΣΑ σε χώρες κυρίως στην Ασία και τη Λατινική Αμερική. Εντός του ΟΟΣΑ, μόνο η Ιταλία και η Κορέα έχουν σημαντικό αριθμό οχημάτων που κινούνται με φυσικό αέριο. Σύμφωνα με το New Policies Σενάριο, η συνολική ζήτηση τον τομέα αυτό διπλασιάζεται στα 225bcm το 2035, μία μέση αύξηση περίπου 3% το χρόνο. Το 2035 το φυσικό αέριο θα ανέρχεται σε ποσοστό 5,6% της συνολικής ζήτησης του τομέα (3.8% είναι περίπου σήμερα) και στα 4.8% της ζήτησης για οδικές μεταφορές (1.8% είναι περίπου σήμερα).



Σχήμα 30: Η παγκόσμια ζήτηση Φυσικού Αερίου ανά τομέα σύμφωνα με το New Policies Σενάριο.⁴⁰

Τάσεις προσφοράς φυσικού αερίου

Οι διαθέσιμοι πόροι φυσικού αερίου είναι περισσότερο από αρκετοί για να ικανοποιήσουν τα πιθανά επίπεδα ζήτησης φυσικού αερίου για τις επόμενες δεκαετίες. Τα αποδεδειγμένα αποθέματα ανέρχονταν σε 187tcm στο τέλος του 2012 σύμφωνα με έρευνα της BP^[41].

Η Νορβηγία θα παραμένει ο μεγαλύτερος παραγωγός φυσικού αερίου στην Ευρώπη με σημαντικά έργα όπως αυτά στη θάλασσα Μπάρεντς και θα είναι σε θέση να διατηρήσει την παραγωγή της στα τρέχοντα επίπεδα. Σε άλλες χώρες της Ευρώπης, ωστόσο, οι προοπτικές για την παραγωγή φυσικού αερίου δεν είναι και τόσο καλές. Η μείωση στο Ηνωμένο Βασίλειο της παραγωγής του συμβατικού αερίου ήταν απότομή και τώρα έχει σταθεροποιηθεί οδηγούμενο σταδιακά στο τέλος του. Από την άλλη η Βόρεια Θάλασσα (Groningen Field) αναμένεται να συνεχίζει να κινείται σε πλατό και να μειωθεί μετά το 2020.

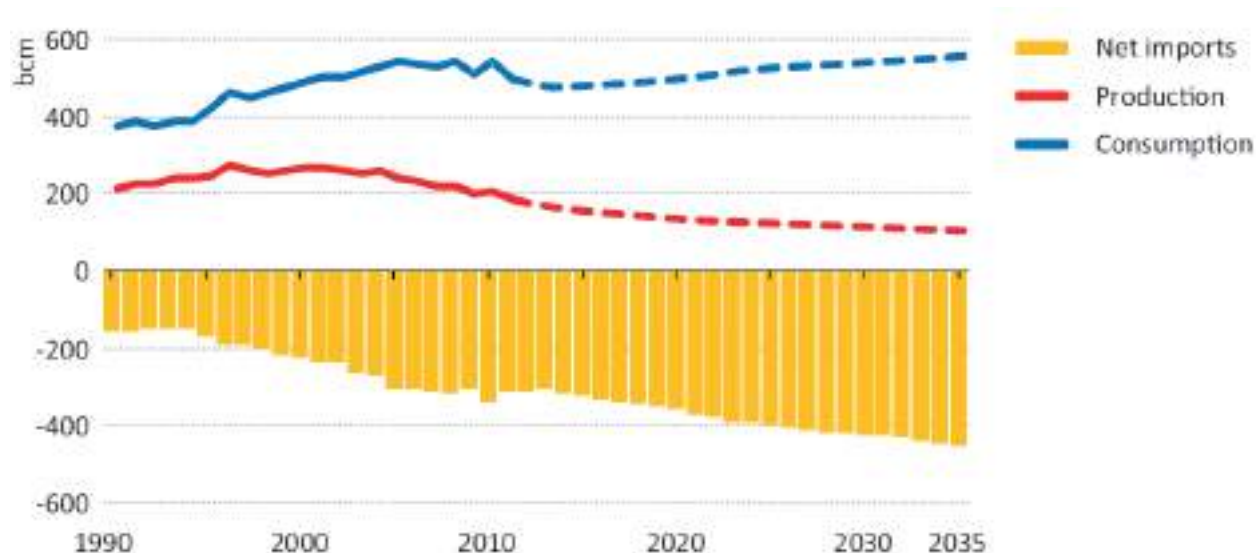
Η παραγωγή φυσικού αερίου της Ρωσίας αναμένεται να αυξηθεί κατά περίπου 135bcm σε πάνω από 800 το 2035, με όλο το ρυθμό ανάπτυξης έρχεται μετά το 2020, κυρίως λόγω των αυξανόμενων εξαγωγών. Δεν θα υπάρχει έλλειψη προσφοράς στη Ρωσία: η Gazprom βρίσκεται σε θέση να αυξηθεί κυρίως στην χερσόνησο του Yamal, ενώ άλλες επιχειρήσεις - ήδη υπεύθυνες το 2012 για το ένα τέταρτο της ρωσικής παραγωγής, έχουν τόσο την ικανότητα όσο και τη φιλοδοξία αύξησης της παραγωγής από τις μικρότερες χερσαίες εγκαταστάσεις.

Παρά τη σχετικά μικρή αύξηση της ζήτησης, η ανάγκη εισαγωγής αερίου στην Ευρώπη αυξάνεται πιο έντονα, καθώς η παραγωγή υποχωρεί στην ήπειρο (η Νορβηγία είναι η σημαντική εξαίρεση). Στην περίπτωση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η ανάγκη εισαγωγής φυσικού αερίου αυξάνεται, φθάνοντας τα 450bcm μέχρι το 2035. Η Ευρώπη είναι προσανατολισμένη στην εξασφάλιση της ζήτησης από μια ποικιλία πηγών, συμπεριλαμβανομένων των παραδοσιακών προμηθευτών αυτών όπως η Νορβηγία, η Ρωσία και η Αλγερία, καθώς και η διεθνής αγορά LNG. Υπάρχουν επίσης και νεοεισερχόμενοι που θέλουν να προμηθεύσουν την Ευρώπη με αγωγούς, και κυρίως το Αζερμπαϊτζάν και ενδεχομένως και το Ιράκ, μέσω του λεγόμενου "Νότιου Διάδρομου" μέσω της Τουρκίας και της υπόλοιπης νοτιοανατολικής Ευρώπης.



United States	750
Russia	628
Iran	190
Qatar	167
Canada	165
China	137
Norway	120
Algeria	97
Saudi Arabia	90
Turkmenistan	78
Indonesia	75
Australia	71

Σχήμα 31: Παγκόσμιος χάρτης παραγωγής Φυσικού Αερίου.³⁹



Σχήμα 32: Ισοζύγιο Φυσικού Αερίου στην Ευρώπη σύμφωνα με το New Policies Σενάριο.⁴⁰

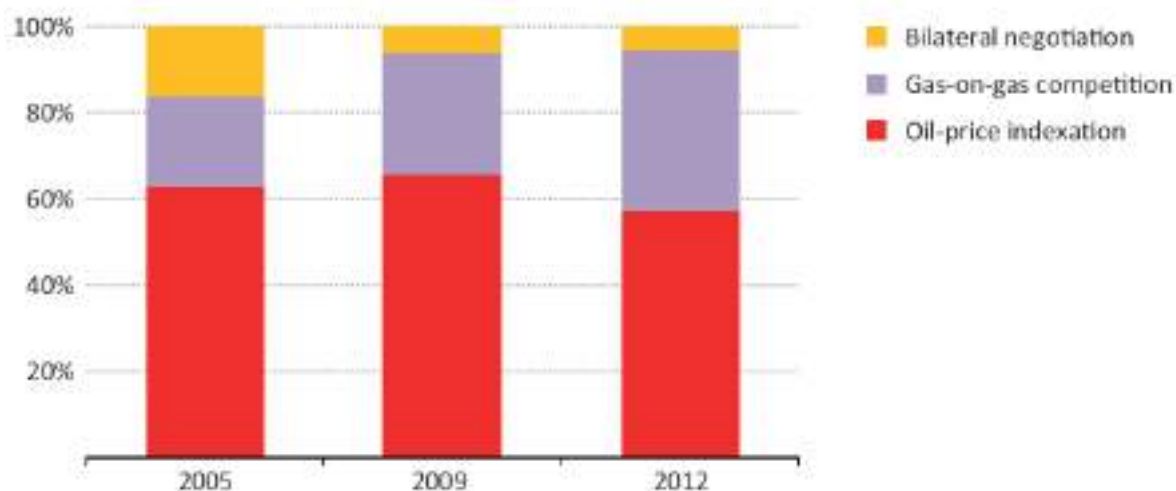
Τιμές Φυσικού Αερίου

Η τιμές του Φυσικού Αερίου εμπίπτουν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό ρύθμισης, την ανταγωνιστικότητα της αγοράς και τη ρευστότητά της ^[42]:

- τιμές ρυθμιζόμενες από την κυβέρνηση, ανάλογα με το κόστος
- τιμαριθμική αναπροσαρμογή με ανταγωνιστικά καύσιμα και κυρίως του πετρελαίου
- σε ανταγωνιστικές και απελευθερωμένες αγορές μέσω spot τιμολόγηση

Ο τρόπος με τον οποίο τιμολογείται το φυσικό αέριο έχει υποστεί σημαντικές αλλαγές τα τελευταία χρόνια. Μία πρώτη αλλαγή που παρατηρήθηκε την περίοδο 2005-2008, μείωσε το ποσοστό του αερίου που πωλούνταν μέσω διμερών συμβάσεων μεταξύ μεγάλων αγοραστών. Αυτό συνέβη κυρίως λόγω της αλλαγή τιμολογιακή πολιτικής για εξαγωγές του Ρώσικου αερίου σε γειτονικές χώρες, όπως στην περίπτωση με την Ουκρανία. Μία δεύτερη αλλαγή ήταν η αύξηση των ποσοστών gas-to-gas pricing, δηλαδή οι τιμές που καθορίζονται από την αλληλεπίδραση προσφοράς και ζήτησης φυσικού αερίου. Το 2005 το ποσοστό αυτό ήταν περίπου το 1/5, ενώ το 2012 αυξήθηκε στο 37%. Η στροφή προς αυτόν τον τρόπο τιμολόγησης εμφανίζεται κυρίως στην ηπειρωτική Ευρώπη. Η μείωση της ζήτησης λόγω οικονομικής κρίσης, οι πολλές οφειλές (take-or-pay obligations) καθώς και η βραχυπρόθεσμη διαθεσιμότητα σε ανταγωνιστικές τιμές του LNG της Β.Αμερικής που πλέον δε χρειαζόταν, πίεσαν το σύστημα τιμαριθμικής αναπροσαρμογής, ώστε αυτό να μειωθεί. Το αποτέλεσμα των διαπραγματεύσεων μεταξύ των Ευρωπαίων εισαγωγέων και των εξωτερικών προμηθευτών ήταν η αύξηση του ποσοστού του αερίου που πωλούνταν έχοντας ως σημείο αναφοράς τις τιμές στους κόμβους εμπορίας Φ.Α (hubs). Σύμφωνα με τις περισσότερες εκτιμήσεις, το αέριο που

τιμολογείται με τιμαριθμική αναπροσαρμογή έχει ήδη μειωθεί στο μισό του αερίου που πωλείται στην Ευρώπη.



Σχήμα 33: Τα ποσοστά εμπορευόμενου Φυσικού Αερίου ανάλογα με το μηχανισμό διαμόρφωσης τιμής.⁴³

Η επίδραση των τεχνολογικών εξελίξεων στο Φ.Α.

Οι τεχνολογίες και οι εφαρμογές φυσικού αερίου που τώρα αναπτύσσονται θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στη μελλοντική ζήτηση του αερίου, με ιδιαίτερη επίδραση στον τομέα των μεταφορών και κυρίως στη χρήση του LNG στα βαρέα φορτηγά και στις θαλάσσιες μεταφορές. Οι μεταφορές αποτελούν ελπίδα για την επέκταση της ευρωπαϊκής βιομηχανίας αερίου, μέσω της εγκατάλειψης των προϊόντων πετρελαίου και τη σταδιακή στροφή προς το LNG. Ο τομέας παραγωγής ηλεκτρισμού διαφαίνεται να έχει αρνητική επίδραση στην αγορά φυσικού αερίου. Η μείωση του κόστους των ανανεώσιμων πηγών και η πρόοδος στις τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρισμού μέσω μπαταριών έχουν θέσει αμφιβολίες στην ανταγωνιστικότητα του αερίου έναντι της ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών και οι τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρισμού επεκτείνονται με ταχείς ρυθμούς βελτιώνοντας το βασικό πρόβλημα των ΑΠΕ, δηλαδή τη μη συνεχή ικανότητα χρήσης τους. Βέβαια κανείς δε μπορεί να εγγυηθεί πως οι αναπτυσσόμενες αυτές τεχνολογίες θα έχουν παραπάνω δυνατότητες ή ότι το κόστος του θα μειωθεί σημαντικά στο μέλλον. Στον τομέα της θέρμανσης οι σχετιζόμενες τεχνολογίες είναι πιθανόν να βοηθήσουν την αγορά αερίου. Συγκεκριμένα, υπάρχει πιθανότητα χρήσης του υφιστάμενου δικτύου φυσικού αερίου για διανομή υδρογόνου μέσω φυσικού αερίου με τη διαδικασία της αναμόρφωσης του ατμού. Το υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς και διανομής μπορεί εύκολα να μεταφέρει υδρογόνο αντί αερίου. Τόσο στον τομέα των μεταφορών όσο και της παραγωγής ηλεκτρισμού τα δίκτυα αυτά θα αυξήσουν τις πιθανότητες δημιουργίας σταθμών ανεφοδιασμού, που τροφοδοτούνται απευθείας από το δίκτυο. Εκτός από το πρόβλημα κόστους, για την

παραπάνω μετατροπή του δικτύου είναι και εκείνο της ικανότητας δέσμευσης και αποθήκευσης του άνθρακα.

4.2 Περιγραφή Δικτύου

Στην Ευρώπη το υφιστάμενο δίκτυο φυσικού αερίου αποτελεί ένα πολύπλοκο ιστό με χιλιάδες κλάδους και με μήκος πολλών χιλιάδων χιλιομέτρων. Το δίκτυο αυτό μεταφέρει το φυσικό αέριο από τις κύριες περιοχές παραγωγής στις Ευρωπαϊκές αγορές. Υπάρχουν επίσης σταθμοί παραλαβής και αεριοποίησης υγροποιημένου φυσικού αερίου οι οποίοι εφοδιάζονται από δεξαμενόπλοια που μεταφέρουν το ΥΦΑ από τους τερματικούς σταθμούς υγροποίησης (Κατάρ, Αλγερία, Νιγηρία, Αίγυπτος, κλπ).

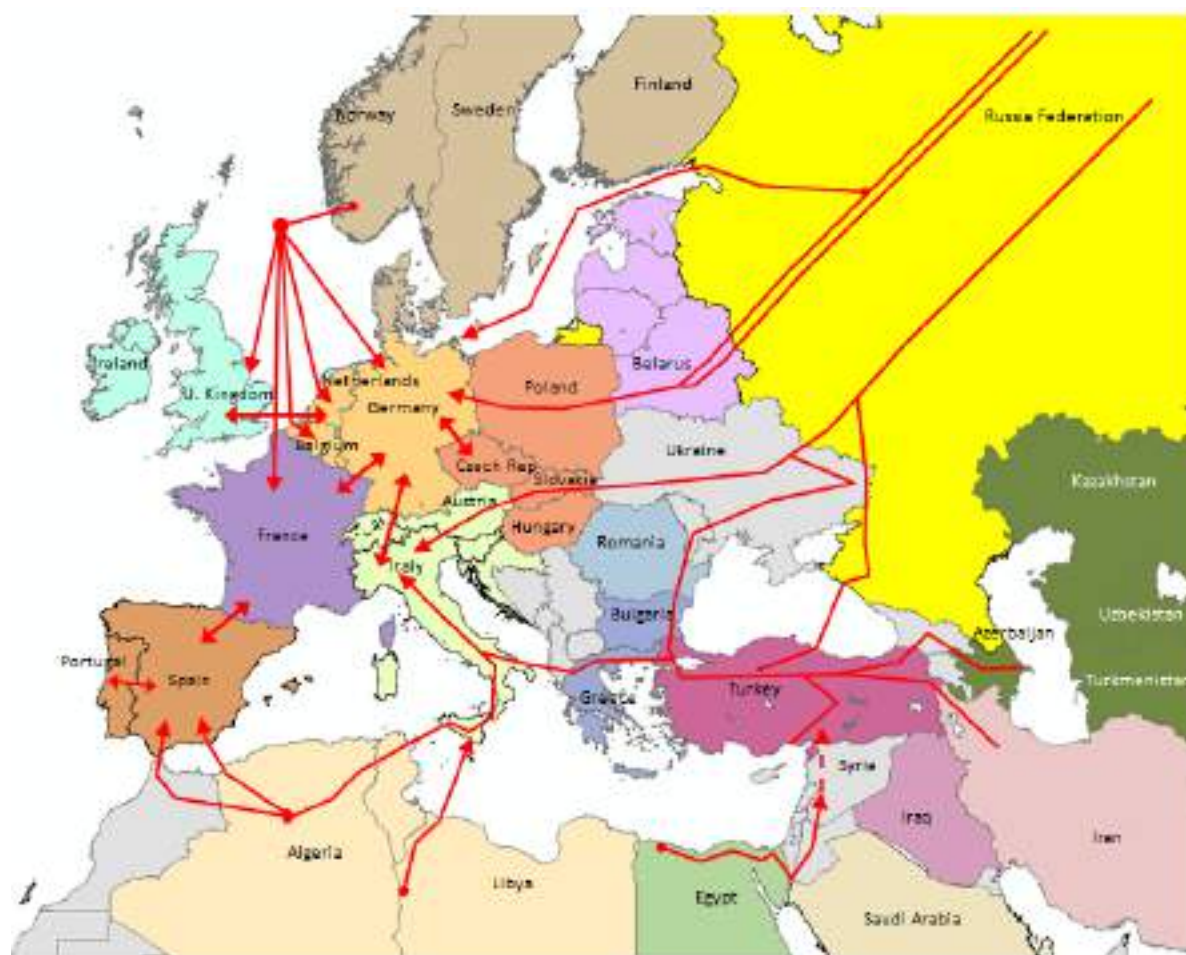


Σχήμα 34: Το Ευρωπαϊκό δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου.⁴⁴

Οι διάφοροι δημοσιευμένοι χάρτες είτε είναι ιδιαίτερα σύνθετοι και λεπτομερείς είτε αρκετά απλουστευμένοι. Για το λόγο αυτό η μελέτη πολλαπλών πηγών πληροφορίας ήταν απαραίτητη για τη σωστή αξιολόγησή τους. Ένα άλλο πρόσθετο πρόβλημα είναι το γεγονός ότι τα δεδομένα και οι χάρτες αυτοί ανανεώνονται με ταχύτατους ρυθμούς οπότε χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη χρήση των στοιχείων τους.

Το μεγαλύτερο μέρος αυτών των κοιτασμάτων που καθορίζουν και τις βασικές διαδρομές ροής προέρχονται:

- από τη Ρωσία
- από την περιοχή της Βόρειας Θάλασσας και
- από την Αφρική
- από τη Μέση Ανατολή



Σχήμα 35: Απλοποιημένος Χάρτης βασικών ροών φυσικού αερίου στην Ευρώπη με αγωγούς.

Στην Ευρώπη μεταξύ των χωρών της υπάρχει διαφοροποίηση των συνθηκών που επικρατούν σχετικά με το φυσικό αέριο ανάλογα από το ποια χώρα αποτελεί την κύρια πηγή τροφοδοσίας, αν εισάγουν LNG και αν έχουν τοπική παραγωγή. Μετά την είσοδο χωρών όπως η Τσεχική Δημοκρατία, η Εσθονία, η Ουγγαρία, η Λετονία, η Λιθουανία κλπ. στην Ευρώπη οι αγωγοί από τη Ρωσία αναπτύχθηκαν στο θέμα των υποδομών. Έτσι σήμερα οι χώρες στην ανατολική Ευρώπης έχουν εγκλωβιστεί στο μονοπώλιο της Ρωσικής εταιρείας Gazprom. Εν τω μεταξύ, η Δυτική Ευρώπη είχε ήδη κατασκευάσει αγωγούς στη Νορβηγία, την Αλγερία και τους τερματικούς σταθμούς επαναεριοποίησης LNG. Συνεπώς, η ευρωπαϊκή αγορά φυσικού αερίου είναι

κερματισμένη μεταξύ της μονοπωλιακής παρουσίας της Ρωσίας στην Ανατολή, τον ανταγωνισμό μεταξύ αγωγών και LNG στην Κεντρική Ευρώπη και την ανταγωνιστική αγορά με τις μεγάλες εισαγόμενες ποσότητες LNG στην Νοτιοδυτική Ευρώπη. Ο διαχωρισμός των τριών διακριτών περιοχών παρουσιάζεται στον επόμενο χάρτη.



Σχήμα 36: Η τμηματοποίηση της Ευρωπαϊκής αγοράς αερίου.⁴⁵

Το 2013, το 39% των εισαγωγών φυσικού αερίου κατ' όγκο προέρχονταν από τη Ρωσία, το 33% από τη Νορβηγία και το 22% από τη Βόρεια Αφρική (Αλγερία και Λιβύη). Οι ποσότητες από άλλες πηγές είναι μικρές και αντιστοιχούν σε περίπου 4%. Οι εισαγωγές ΥΦΑ από αυτές και άλλες χώρες (π.χ. Κατάρ, Νιγηρία) αυξήθηκαν και κορυφώθηκαν σε περίπου 20%, αλλά έκτοτε έχουν μειωθεί σε περίπου 15%, λόγω των υψηλότερων τιμών στην Ασία.

4.2.1 Αγωγοί Φυσικού Αερίου από τη Ρωσία

Η Ρωσία αποτελεί τη βασικότερη χώρα που προμηθεύει την Ευρώπη με φυσικό αέριο διαμέσου αγωγών. Η εξάρτηση της Ευρώπης από αυτή τη χώρα είναι μεγάλη με το ποσοστό να φτάνει το 2013 το 39% των συνολικών εισαγωγών.^[46] Μάλιστα ορισμένες χώρες έχουν υψηλή εξάρτηση όπως η Λιθουανία (ποσοστό εξάρτησης 100%), η Εσθονία (100%), η Φινλανδία (100%) ενώ η Ελλάδα εισάγει το 56% του αερίου από τη Ρωσία. Ο επόμενος χάρτης απεικονίζει την εξάρτηση που περιγράφηκε παραπάνω.



Σχήμα 37: Σχηματική απεικόνιση της εξάρτησης εισαγωγής φυσικού αερίου από τη Ρωσία.⁴⁷

Τα βασικά κοιτάσματα της Ρωσίας βρίσκονται στις περιοχές της Σιβηρίας, περιλαμβάνοντας την περιοχή Urengoy και στην περιοχή Novanenkovo. Οι διαδρομές που ακολουθούν οι αγωγοί είναι τέσσερις κυρίως, μία μέσω της Βαλτικής Θάλασσας που φτάνει στη Γερμανία, μια διαδρομή διαμέσου της Λευκορωσίας, μία διαμέσου της Ουκρανίας και μία μέσω της Τουρκίας. Το υπόλοιπο αέριο της Ρωσίας μεταφέρεται στην Ασία ως LNG. Η Ρωσία προσπαθεί να ανεξαρτητοποιήσει τις εξαγωγές της που περνούν από την Ουκρανία και γι αυτό σταδιακά προσπαθεί να μειώσει το ποσοστό του αερίου που περνά στην Ευρώπη από τη χώρα αυτή, λόγω των δυσμενών γεωπολιτικών συνθηκών που επικρατούν ανάμεσά τους.



Σχήμα 38: Τα σημεία εισόδου και εξόδου του ρώσικου αερίου μέσω της Ουκρανίας.⁴⁸

Το σύστημα μεταφοράς του φυσικού αερίου της Ρωσίας περιλαμβάνει πάνω από 100.000 μίλια αγωγών υψηλής πίεσης και 26 υπόγειους σταθμούς αποθήκευσης. Ακολουθεί ο χάρτης των βασικών ρωσικών αγωγών και στη συνέχεια γίνεται συνοπτική περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών τους.



Σχήμα 39: Κύριοι αγωγοί τροφοδοσίας Ευρώπης με προέλευση τη Ρωσία.⁴⁹

Αγωγός φυσικού αερίου Nord Stream

Ο αγωγός Nord Stream (North Transgas, North European Gas Pipelines) αποτελεί τον βορειότερο άξονα που ακολουθεί το φυσικό αέριο της Ρωσίας για να τροφοδοτήσει την Ευρώπη. Ξεκινά από την περιοχή Vyborg της Ρωσίας και καταλήγει στην περιοχή Greifswald της Γερμανίας, διασχίζοντας τη Βαλτική Θάλασσα. Η κύρια πηγή κοιτασμάτων που τροφοδοτούν τον αγωγό αυτό βρίσκεται στην περιοχή του Yuzhno-Russkoye και την Ob-Taz. Αποτελείται από δύο παράλληλους αγωγούς και διαχειριστής του έργου είναι η Nord Stream AG. Ένα του μέρος βρίσκεται στην ξηρά ενώ έχει και υποθαλάσσιο τμήμα. Ο πρώτος αγωγός ολοκληρώθηκε το 2011 και ο δεύτερος το 2012 (πρόκειται για έργο που σχεδιαζόταν σε αρχικό στάδιο από το 1997.

[50]

Το μήκος του αγωγού είναι 1224 χιλιόμετρα και αποτελεί τον μεγαλύτερο υποθαλάσσιο αγωγό στον κόσμο. Η διάμετρος του αγωγού είναι 1220mm και η συνολική του δυναμικότητα είναι 55bcm το χρόνο.



Σχήμα 40: Ο αγωγός φυσικού αερίου Nord Stream.⁵¹

Ο αγωγός στη Βαλτική Θάλασσα ελέγχεται 365 ημέρες το χρόνο κάθε στιγμή από ειδικούς, εκτελώντας όλες τις διαδικασίες ασφαλείας από το κέντρο ελέγχου, έχοντας συνεχή επικοινωνία με τους προμηθευτές και τους αποδέκτες ότι η ροή και η ποσότητα του αερίου είναι η σχεδιασμένη. Υπάρχει ολοκληρωμένος εξοπλισμός τοποθετημένος, περιλαμβάνοντας βαλβίδες απομόνωσης και αποκοπής ροής για έκτακτες καταστάσεις για την απομόνωση του υποθαλάσσιου τμήματος και του τμήματος του αγωγού στην ξηρά καθώς και αισθητήρες για μέτρηση της πίεσης, της θερμοκρασίας, της ποιότητας και της ροής.

Ο αγωγός αυτός είναι ιδιαίτερης σημασίας αφού αποτελεί παράκαμψη των βασικών χωρών μέσα από τις οποίες παραδοσιακά περνούσε το ρωσικό αέριο (Ουκρανία και Λευκορωσία). Όμως από πολλούς κατηγορήθηκε ότι το έργο αυτό αποτελεί ενίσχυση της εξάρτησης από τη Ρωσία και αποτελεί τη μόνη απευθείας διασύνδεση της Ρωσίας με την Ευρώπη.

Αγωγός φυσικού αερίου Yamal-Europe

Ο αγωγός αυτός ξεκινάει από τη Δυτική Σιβηρία (Torzhok) και καταλήγει στη Γερμανία. Περνάει διαμέσου της Λευκορωσίας και της Πολωνίας και έχει συνολικό μήκος 4.196 χιλιόμετρα. Ο αγωγός έχει 14 σταθμούς συμπίεσης με διάμετρο 1420 χιλιοστά και περιέχει 14 σταθμούς συμπίεσης.

Παρά το όνομα του αγωγού τροφοδοτείται από την περιοχή Nadym Pur Taz της Tyumen Oblast και όχι από την χερσόνησο Yamal. Οι πρώτες ποσότητες αερίου παραδόθηκε στη Γερμανία μέσω της Λευκορωσίας-Πολωνίας το 1997. Τα τμήματα του αγωγού στη Λευκορωσία και τη Πολωνία ολοκληρώθηκαν το Σεπτέμβριο του 1999 και ο αγωγός έφτασε την ονομαστική ετήσια παραγωγική ικανότητα του περίπου 33 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου το 2005, μετά την ολοκλήρωση όλων των σταθμών συμπίεσης.^[52]

Το ρωσικό τμήμα του αγωγού έχει μήκος 402 χιλιόμετρα, με τρεις σταθμούς συμπίεσης: τους Rzhevskaya, Holm-Zhirkovskaya και Smolenskaya. Στη Λευκορωσία ο αγωγός έχει μήκος 575 χιλιόμετρα, με πέντε σταθμούς συμπίεσης: Nesvizhskaya, Κρούπσκαγια, Slonimskaya, Minskaya και Orshanskaya. Στην Πολωνία ο αγωγός έχει μήκος 683 χιλιόμετρα, με πέντε σταθμούς συμπίεσης: Ciechanów, Szamotul, Zambrów, Włocławek και Kondratki. Το δυτικότερο σημείο του αγωγού είναι ο σταθμός συμπίεσης Mallnow κοντά στη Φρανκφούρτη. Ο αγωγός συνδέεται με τον αγωγό φυσικού αερίου JAGAL, ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται με τους αγωγούς STEGAL -MIDAL.^[53]



Σχήμα 41: Ο αγωγός φυσικού αερίου Yamal-Europe.⁵⁴

Αγωγός φυσικού αερίου Northern Lights

Ο αγωγός Northern Lights κινείται παράλληλα σε ένα τμήμα του με τον αγωγό Yamal και ξεκινά από την περιοχή Urengoy, διασχίζοντας τη Λευκορωσία. Το συνολικό του μήκος είναι 7.337 χιλιόμετρα εκ των οποίων τα 2.500 χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του αερίου στην Ευρώπη. Ανήκει στην Gazprom και η ίδια εταιρεία είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία του αγωγού.

Αποτελείται από πέντε βασικές διαδρομές:^[55]

- Torzhok-Minsk-Ivatsevichy
- Ivatsevichy-Dolyna (στην Ουκρανία)
- Kobrin-Brest-Warsaw (στην Πολωνία)
- Minsk-Vilnius (στο Kaliningrad και τη Λιθουανία)
- Torzhok-Dolyna (στην Ουκρανία)

Διαθέτει 6 σταθμούς συμπίεσης και η χωρητικότητά του είναι 51bcm, παρόλο που εν λειτουργία μεταφέρεται μικρότερη ποσότητα. Ο αγωγός Northern Lights έχει πολλά παρακλάδια κατά μήκος της διαδρομής του, με αποτέλεσμα μετά τη Λευκορωσία να εισέρχεται με διαφορετικά τμήματα του, στη Λιθουανία, στη Πολωνία και στην Ουκρανία. Από εκεί το φυσικό αέριο συνεχίζει δυτικότερα στην Ευρώπη μέσω συνδέσεων με άλλους αγωγούς. Πριν φτάσει στη Λευκορωσία, η προέκταση του Northern Lights κατευθύνεται βορειότερα και τροφοδοτεί την ευρύτερη περιοχή της Αγίας Πετρούπολης και τη Φινλανδία ενώ δεύτερο τμήμα με ίδια κατεύθυνση τροφοδοτεί τον υποθαλάσσιο αγωγό Nord Stream.



Σχήμα 42: Ο αγωγός φυσικού αερίου Northern Lights.⁵⁶

Αγωγός φυσικού αερίου Brotherhood

Ο αγωγός Brotherhood (γνωστός και ως Urengoy-Pomary-Uzhgorod, Δυτικοσιβηρικός αγωγός ή Trans-Siberian Pipeline) αποτελεί τη μεγαλύτερη διαδρομή μεταφοράς φυσικού αερίου. Είναι ένας πολύ σημαντικός αγωγός της Ρωσίας και σε ένα τμήμα του λειτουργεί και ανήκει στην Ουκρανία.

Μπορεί να μεταφέρει πάνω από 100bcm φυσικού αερίου ετησίως, που διέρχονται από την Ουκρανία και τη Σλοβακία. Στη Σλοβακία, ο αγωγός χωρίζεται σε δύο κλάδους, ο πρώτος πηγαίνει στην Τσεχία ενώ ο δεύτερος πηγαίνει στην Αυστρία.^[57] Ο αγωγός κατευθύνεται αρχικά από το πεδίο του φυσικού αερίου Urengoy της Σιβηρίας στις στους σταθμούς συμπίεσης Pomar στη Δυτική Ουκρανία αφού περάσει τα ρωσικο-ουκρανικά σύνορα βόρεια του Σούμι. Μετά, το φυσικό αέριο μεταφέρεται σε χώρες της Κεντρικής και της Δυτικής Ευρώπης. Μαζί με τους αγωγούς Soyuz και Progres αποτελεί το δυτικό διάδρομο διέλευσης στην Ουκρανία. Στην Ουκρανία, μεταφέρει φυσικό αέριο στο αντλιοστάσιο Uzhgorod στα ουκρανικά σύνορα με τη Σλοβακία και σε μικρότερους σταθμούς στα ουγγρικά και ρουμανικά σύνορα.

Λόγω των άσχημων πολιτικών συνθηκών που επικρατούν μεταξύ της Ρωσίας και Ουκρανίας ο αγωγός αυτός μετά το 2014 αποτελεί σημείο αντιπαράθεσης για τις δύο χώρες, αφού πλέον η Ρωσία αντιμετωπίζει ως πρόβλημα τη διαμετακόμιση του αερίου στην Ευρώπη μέσω της Ουκρανίας.

Αγωγός φυσικού αερίου Soyuz

Ο αγωγός συνδέει τη Ρωσία με τη Δυτική Ευρώπη έχοντας μήκος 2675 χιλιόμετρα και διάμετρο 1420mm. Ξεκινά από το κοίτασμα Orenburg και εισέρχεται στην Ουκρανία ανατολικά του Novorpskon μέσω του μετρητικού σταθμού φυσικού αερίου Sokhranonka στη Ρωσία. Από εκεί, ο αγωγός Soyuz κατευθύνεται προς τα δυτικά μέχρι το Bar όπου ενώνεται με το διάδρομο των αγωγών Urengoy – Pomary – Uzhgorod (ή αγωγός Brotherhood).^[58]

Έχει προγραμματιστεί να πραγματοποιηθεί εκσυγχρονισμός των σταθμών συμπίεσης του αγωγού. Η δυναμικότητα του αγωγού μετά τον εκσυγχρονισμό θα ανέρχεται σε 32bcm ετησίως ξεπερνώντας τη σημερινή δυναμικότητα που είναι 26.1bcm.

Αγωγός φυσικού αερίου Blue Stream

Ο αγωγός αυτός είναι ο βασικότερος αγωγός που περνά τη Μαύρη Θάλασσα και μεταφέρει φυσικό αέριο από τη Ρωσία στην Τουρκία. Έχει μήκος 1.213 χιλιόμετρα και έχει μέγιστη μεταφορική ικανότητα το χρόνο 16bcm. Το έργο κατασκευάστηκε από την κοινοπραξία της Gazprom και της ιταλικής εταιρείας Eni. Όμως, το τμήμα που βρίσκεται στην Τουρκία λειτουργεί μέσω της εταιρείας BOTAS.

Ξεκινά από το σταθμό Izobilnoye στη Ρωσία και έχει μήκος 373 χιλιόμετρα στη Ρωσία και στο κομμάτι αυτό διαθέτει δύο σταθμούς συμπίεσης. Το υποθαλάσσιο κομμάτι έχει μήκος 396 χιλιόμετρα και ξεκινά από το σταθμό Beregovaya φτάνοντας στο Durusu. Το τελευταίο του μέρος έχει μήκος 444 χιλιόμετρα και φτάνει έως την περιοχή Ankara. Έχει μεταβλητή διάμετρο λόγω του ότι έχει τμήμα υποθαλάσσιο και χερσαίο καθώς επίσης συναντά και ορεινό τμήμα σε πάνω από 60 χιλιόμετρα, με αποτέλεσμα την χρήση ειδικής τεχνολογίας για την αντιμετώπιση αυτής της μορφολογίας του εδάφους. Αποτελεί τον βαθύτερο αγωγό στον κόσμο ξεπερνώντας κατά πολύ το μέσο βάθος των συνηθών αγωγών.

Βασικός στόχος της κατασκευής του αγωγού αυτού ήταν η αποφυγή των παραδοσιακών χωρών διαμεσολάβησης και η απευθείας τροφοδότηση. Το υπόλοιπο αέριο μεταφέρεται στην Τουρκία μέσω της Ουκρανίας.

Είχε σχεδιαστεί η κατασκευή παράλληλου αγωγού, του Blue Stream 2. Όμως πάγωσε λόγω πολιτικών θεμάτων μεταξύ των χωρών της Κασπίας που αποτέλεσαν τροχοπέδη. Ακόμη αρκετοί αναλυτές εκφράζουν προβληματισμούς στο κατά πόσο η Τουρκία αποτελεί αξιόπιστο συνεργάτη καθώς έχουν εμφανίσει σημαντικές διαφορές και στο θέμα των τιμών μεταξύ των δύο χωρών για το αέριο.^[59]



Σχήμα 43: Ο αγωγός φυσικού αερίου Blue Stream.^{.60}

- Ο αγωγός South Stream ήταν προτεινόμενος αγωγός αερίου για τη μεταφορά φυσικού αερίου της Ρωσίας μέσω της Μαύρης θάλασσας στη Βουλγαρία, τη Σερβία, την Ουγγαρία, την Ιταλία και την Αυστρία. Το εν λόγω εγχείρημα σχεδιάστηκε εν μέρει για την αντικατάσταση της σχεδιαζόμενης επέκτασης του Blue Stream από την Τουρκία μέσω Βουλγαρίας και Σερβίας στην Ουγγαρία και την Αυστρία. Το 2013 η Gazprom ακύρωσε την κατασκευή του έργου.
- Ο αγωγός Turkish Stream αντικαθιστά τον South Stream, η συμφωνία για τον οποίο ακυρώθηκε. Ρωσία και Τουρκία υπέγραψαν τη συμφωνία για τη δημιουργία του το φθινόπωρο του 2016 για τη μεταφορά ρωσικού φυσικού αερίου στην Τουρκία μέσω της Μαύρης Θάλασσας. Θα αποτελέσει ένα έργο που θα χρησιμοποιεί τα πιο εξελιγμένα μέσα τεχνολογίας.

Θα συνδέει απευθείας τα αποθέματα αερίου στο δίκτυο της Τουρκίας. Το υπεράκτιο κομμάτι του θα κατασκευαστεί από την Gazprom και θα αποτελείται από δύο παράλληλους αγωγούς. Το υποθαλάσσιο κομμάτι θα ξεκινά από την περιοχή Anapa και θα φτάνει στο χωριό Kiyikoy.

Η αναμενόμενη δυναμικότητα θα φτάνει στο σύνολο 31.5bcm εκ των οποίων τα 14bcm θα καταναλώνονται από την Τουρκία.

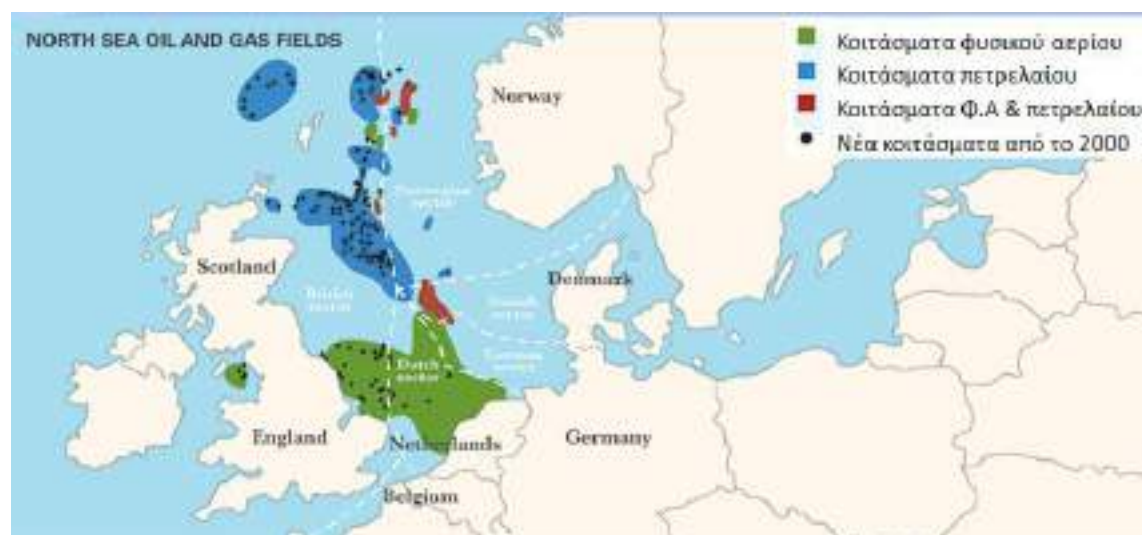


Σχήμα 44: Οι αγωγοί Turkish Stream και South Stream (που ακυρώθηκε).⁶¹

4.2.2 Αγωγοί Φυσικού Αερίου από τη Βόρεια Θάλασσα

Μετά τη Ρωσία, η δεύτερη σημαντικότερη δύναμη που τροφοδοτεί την Ευρώπη είναι η περιοχή των κοιτασμάτων που βρίσκονται στη Βόρεια Θάλασσα. Τα κοιτάσματα

αυτά καλύπτουν τις εισαγωγές της Ευρώπης σε ποσοστό που ανέρχεται σε 20-25% επί του συνόλου του αερίου που καταναλώνεται και το 35% του αερίου που εισάγεται. Οι κύριες χώρες που εισάγουν το αέριο αυτό είναι η Γερμανία, η Γαλλία και το Βέλγιο.

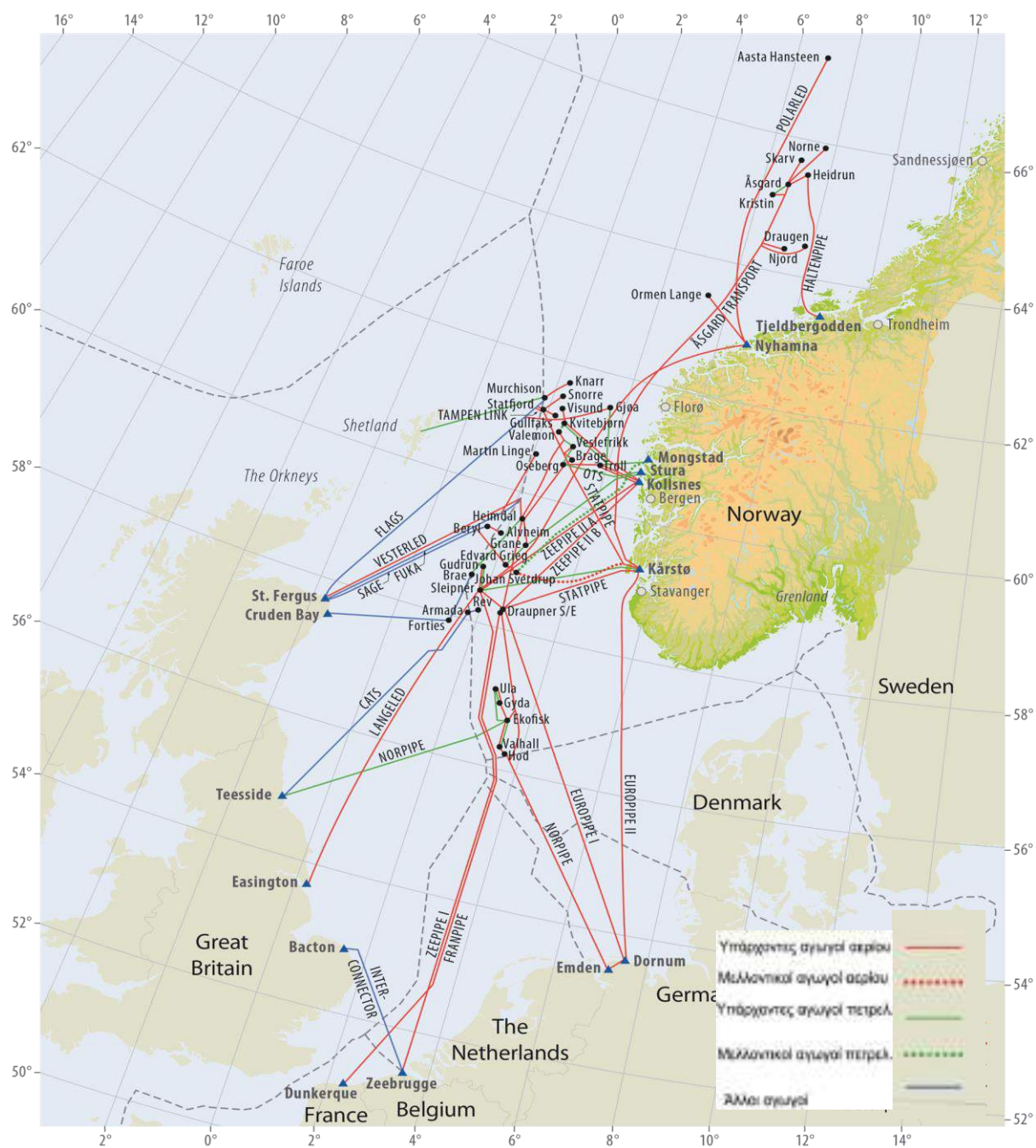


Σχήμα 45: Τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας.

Τα κοιτάσματα του φυσικού αερίου της Βόρειας θάλασσας ανήκουν στην Νορβηγία, την Αγγλία, τη Γερμανία και τη Δανία. Οι χώρες αυτές συνδέονται με τα κοιτάσματα μέσω ενός πυκνού δικτύου αγωγών που μεταφέρουν αρχικά αέριο στις χώρες περί της Βόρειας Θάλασσας, ενώ στη συνέχεια αυτό διανέμεται μέσα από άλλους διασυνδεδεμένους αγωγούς στην ηπειρωτική Ευρώπη.

Στην ευρύτερη περιοχή της Βόρειας Θάλασσας για πρώτη φορά ανακαλύφθηκε φυσικό αέριο το 1959 στο κοιτάσμα Groningen, το οποίο βρίσκεται στην Ολλανδία και είναι το μεγαλύτερο κοιτάσμα στην Ευρώπη και το δέκατο μεγαλύτερο στον κόσμο. Λίγα χρόνια αργότερα ανακαλύφθηκαν κοιτάσματα στη Βόρεια Θάλασσα στα εδάφη της Αγγλίας και ακόμα αργότερα το 1970 στο Νορβηγικό τμήμα. Εξαιτίας της μεγάλης κατανάλωσης φυσικού αερίου στην Αγγλία και της αντίστοιχης μικρής στη Νορβηγία, η τελευταία χώρα έγινε ο μεγαλύτερος εξαγωγέας φυσικού αερίου από τη Βόρεια Θάλασσα στην Ευρώπη.

Η Νορβηγία είναι πλέον η τρίτη εξαγωγική δύναμη φυσικού αερίου μετά τη Ρωσία και το Κατάρ. Εκτιμάται ότι μόνο το ένα τρίτο των αποθεμάτων αερίου έχουν παραχθεί έως τώρα. Η παραγωγή θα παραμείνει υψηλή για τα επόμενα 20 χρόνια. Το υπόλοιπο ένα τρίτο θα παραχθεί μέσα σε αυτό το διάστημα, ενώ το υπόλοιπο ένα τρίτο θα παραχθεί μετά το 2035.^[62]



Σχήμα 46: Το σύστημα αγωγών φυσικού αερίου από τη Βόρεια θάλασσα.⁶³

Πίνακας 2: Στοιχεία κύριων αγωγών φυσικού αερίου από Βόρεια Θάλασσα.

Αγωγός	Χερσαίος (X) / Υποθαλάσσιος (Y)	Μήκος (χλμ)	Διάμετρος (mm)	Συνολικό Μήκος (χλμ)	Δυναμικότητα (bcm/y) (Αναβάθμιση/έτος)
Cats	Βόρεια Θάλασσα- Αγγλία (Y)	404		404	17,5
Zeepipe	Βόρεια Θάλασσα- Βέλγιο (Y)	814	1000	814	15
Franpipe	Βόρεια Θάλασσα- Γαλλία (Y)	840	1067	840	19.6
Norpipe	Βόρεια Θάλασσα- Γερμανία (Y)	440	910	440	16
Europipe I	Βόρεια Θάλασσα- Γερμανία (Y)	660	1016	660	18
Europipe II	Νορβηγία (X)	13			
	Γερμανία (X)	15	1067	658	24
	Βόρεια Θάλασσα (Y)	642			

4.2.3 Αγωγοί Φυσικού Αερίου από την Αφρική

Η Ευρώπη θέλοντας να δημιουργήσει κόμβο αερίου στην Μεσόγειο, δηλαδή διαδρομές που θα την βοηθήσουν να έχει διαφοροποίηση των προμηθευτών του φυσικού αερίου, θέλησε να ανοίξει τη αγορά του αερίου από την Βόρεια Αφρική.



Σχήμα 47 :Βασικές διαδρομές αγωγών φυσικού αερίου από την Β. Αφρική.⁶⁴

Οι βασικές χώρες που την προμηθεύουν είναι η Αλγερία και η Λιβύη σε ποσότητα συνολική των 50bcm και όπως είναι φυσικό λόγω γεωγραφίας οι αγωγοί αυτοί είναι υποθαλάσσιοι. Η Αλγερία αποτελεί σημαντικό προμηθευτή της Ευρώπης. Παρόλα αυτά υπάρχει περιορισμός στην ποσότητα που μπορεί να παρέχει, καθώς υπάρχει δυσκολία στην ανάπτυξη νέων έργων και ταυτόχρονα η τοπική κατανάλωσή της αναμένεται να αυξηθεί.^[65] Η Αλγερία τροφοδοτεί την Ισπανία και την Ιταλία. Για το 2015 η ετήσια παραγωγή της χώρας ήταν 82.3bcm ενώ η εξαγωγή προς την Ευρώπη ήταν 43.9bcm. Ακόμη, αξίζει να σημειωθεί ότι μετά την Ισπανία για τη διανομή του αερίου εμφανίζεται το λεγόμενο Bottleneck, δηλαδή υπάρχει τεχνικός περιορισμός στην ποσότητα που μπορεί να διανεμηθεί στην υπόλοιπη Ευρώπη μέσω της Γαλλίας, λόγω της μεταφορικής ικανότητας του αγωγού που συνδέει τις δύο χώρες. Σημείο εκκίνησης των αγωγών αποτελεί η περιοχή Hassi R'Mel, που αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα παγκοσμίως και παράγει 2.000bcm το χρόνο.

Από την άλλη, η γειτονική χώρα της Αλγερίας, η Λιβύη συνδέεται με αγωγό με την Ιταλία. Αντιθέτως με την Αλγερία η εγχώρια κατανάλωση του αερίου θα παραμείνει μικρή καθιστώντας τη χώρα που θα συνεχίσει να εξαγει φυσικό αέριο. Όμως υστερεί στο θέμα των υποδομών και γι αυτό η ικανότητά της είναι προς το παρόν περιορισμένη. Ακόμη, εμφανίζει σημαντική αβεβαιότητα ως προς την πολιτική αντιπαράθεση που ανά διαστήματα επικρατεί σε αυτή.

Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή των βασικών αγωγών της Βόρειας Αφρικής που τροφοδοτούν την Ευρώπη με φυσικό αέριο.

Αγωγός φυσικού αερίου Green Stream

Ο αγωγός αυτός αποτελεί έναν υποθαλάσσιο αγωγό που συνδέει τη δυτική Λιβύη με τη Σικελία της Ιταλίας. Αποτελεί μέρος του κύριου προγράμματος εκμετάλλευσης αερίου που παράγεται στη Λιβύη. Ξεκινά χερσαίος αγωγός από την περιοχή Wafa της Λιβύης ενώ το υποθαλάσσιο τμήμα του ξεκινά από την περιοχή Mellitah. Το φυσικό αέριο που μεταφέρεται μέσω του αγωγού Greenstream προέρχεται από τα λιβυκά πεδία εξόρυξης: Bahr Essalam (θαλάσσιο) που βρίσκεται 110 χιλιόμετρα από την μεσογειακή ακτή, το Wafa και Bouri τα οποία βρίσκονται κοντά στα σύνορα με την Αλγερία, σε απόσταση 530 χιλιομέτρων από το Mellitah.

Το έργο ανήκει και κατασκευάστηκε από την Agip Gas BV, μία κοινοπραξία της Eni και της κρατικής εταιρείας NOC της Λιβύης. Το συνολικό μήκος του αγωγού ανέρχεται στα 540χιλιόμετρα και έχει ετήσια δυναμικότητα 8bcm. Το κόστος κατασκευής υπολογίστηκε 6.6 δισεκατομμύρια δολάρια.⁶⁶

Αποτελεί τον μεγαλύτερο υποθαλάσσιο αγωγό της Μεσογείου που φτάνει το βάθος των 1.127 μέτρων.



Σχήμα 48: Ο αγωγός φυσικού αερίου GreenStream.⁶⁷

Αγωγός φυσικού αερίου Maghreb-Europe

Ο αγωγός αυτός συνδέει την Αλγερία με την Ισπανία και την Πορτογαλία. Ξεκινά από την περιοχή των κοιτασμάτων Hassi R'Mel, διασχίζει το Μαρόκο και το Γιβραλτάρ και καταλήγει στο ευρωπαϊκό δίκτυο αγωγών. Είναι ένας αγωγός που συνδέει τέσσερις χώρες και λειτουργεί υπό υψηλή πίεση.

Το τμήμα του αγωγού εντός της Αλγερίας, μήκους 515 χιλιομέτρων, αναπτύσσεται από το πεδίο Hassi R'mel μέχρι τα σύνορα με το Μαρόκο. Ανήκει στην αλγερινή κρατική εταιρία ενέργειας Sonatrach η οποία είναι και υπεύθυνη για τη λειτουργία του. Το μαροκινό τμήμα, μήκους 522 χιλιομέτρων, ανήκει στο κράτος και λειτουργεί με ευθύνη της Metragaz, μια κοινοπραξία μεταξύ της Sagane (θυγατρικής της ισπανικής εταιρίας Natural Gas (SDG), της Transgas (Πορτογαλία), και της SNPP (Μαρόκο). Το υποθαλάσσιο τμήμα που συνδέει τις δύο ακτές του Στενού του Γιβραλτάρ έχει μήκος 45 χιλιομέτρων και ανήκει από κοινού στις Enagas (Ισπανία) και Transgas, και το μαροκινό δημόσιο. Το εντός της Ανδαλουσίας τμήμα έχει μήκος 269 χιλιομέτρων, ενώ το τμήμα που συνδέει την Πορτογαλία έχει συνολικό μήκος 269 χιλιομέτρων, ενώ 270 χιλιόμετρα αγωγού βρίσκονται στην Extremadura μια αυτόνομη περιοχή της δυτικής Ισπανίας.^[68]



Σχήμα 49: Ο αγωγός Φυσικού αερίου *Maghreb-Europe*.

Το έργο προτάθηκε αρχικά το 1963 από τη Γαλλία. Κατασκευάστηκε το 1996 από τις εταιρείες Bechtel και Saipem. Έχει συνολικό μήκος 1620 χιλιόμετρα και ετήσια δυναμικότητα 12bcm. Διαθέτει δύο σταθμούς συμπίεσης τους Ain Bni Mathar (Frontera) και Tangier (Estrecho), τέσσερα κέντρα συντήρησης και 22 θέσεις βαλβίδων.^[69]

Αγωγός φυσικού αερίου Medgaz

Πρόκειται για υποθαλάσσιο αγωγό που συνδέει την Αλγερία με την Ισπανία. Ξεκινά από την περιοχή Hassi R'Mel ως το λιμάνι του Beni Saf. Αυτό αποτελεί το χερσαίο τμήμα του αγωγού. Το δεύτερο κομμάτι του ξεκινά από το Beni Saf έως την ακτή Almeria της Ισπανίας.

Η ιδέα κατασκευής του απευθείας αυτού αγωγού ξεκίνησε το 1970. Το πρώτο μέρος του αγωγού έχει μήκος 547 χιλιόμετρα και διάμετρο 1220mm ενώ το υποθαλάσσιο μέρος έχει μήκος 210 χιλιόμετρα και διάμετρο 610mm. Η μέγιστη ετήσια μεταφορική ικανότητα του αγωγού είναι 8bcm ενώ υπάρχουν μελλοντικές βλέψεις για αύξηση της χωρητικότητας ή την κατασκευή ενός δίδυμου παράλληλου αγωγού.

Το συνολικό κόστος του αγωγού ανέρχεται στο 900 εκατομμύρια Ευρώ, εκ των οποίων τα 630 αφορούσαν το υποθαλάσσιο τμήμα. Η εταιρεία που το κατασκεύασε είναι η Medgaz και αποτελεί κοινοπραξία των:

- Sonatrach (Αλγερία) - 36%
- CEPSA (Ισπανία) - 20%
- Iberdrola (Ισπανία) - 20%
- Endesa (Ισπανία) - 12%
- Gaz de France (Γαλλία) - 12 %^[70]

Αγωγός φυσικού αερίου Trans-Mediterranean

Ο αγωγός Transmed είναι ο αγωγός φυσικού αερίου που συνδέει την Αλγερία με τη Σικελία, διασχίζοντας την Τυνησία και φτάνει διαμέσου της Ιταλίας έως και τη Σλοβενία.



Σχήμα 50: Ο αγωγός φυσικού αερίου Trans Mediterranean.⁷¹

Αποτελεί το μακρύτερο διεθνές σύστημα αγωγών συνολικού μήκους 2.475 χιλιομέτρων. Η ετήσια δυναμικότητά του φτάνει τα 30.2bcm. Η πρόταση του αγωγού έγινε το 1960, το έργο ξεκίνησε το 1978 και το 2000 μετονομάστηκε σε Enrico Mattei. Το συνολικό κόστος του έργου ανήλθε σε 6.25 δισεκατομμύρια δολάρια.

Το αλγερινό τμήμα αρχίζει από την περιοχή Hassi R'Mel μέχρι τα σύνορα με την Τυνησία με μήκος 550 χιλιομέτρων. Περιλαμβάνει ένα σταθμό συμπίεσης και δύο γραμμές αγωγού διαμέτρου 1220 mm. Το τμήμα αυτό το λειτουργεί η αλγερινή εταιρία Sonatrach. Το τμήμα εντός της Τυνησίας είναι μήκους 370 χιλιομέτρων και ανήκει στην εταιρία Sotugat. Περιλαμβάνει τρεις σταθμούς συμπίεσης και δύο γραμμές αγωγού διαμέτρου 1220 mm. Το υποθαλάσσιο τμήμα του αγωγού έχει μήκος 155 χιλιομέτρων, διέρχεται από το Στενό της Σικελίας, περιλαμβάνει τρεις

γραμμές αγωγών διαμέτρου 510mm και δύο γραμμές διαμέτρου 660mm. Το τμήμα αυτό λειτουργεί υπό την ευθύνη της TMPC (Trans Mediterranean Pipeline Company). Το ιταλικό τμήμα έχει μήκος 1.400 χιλιόμετρα και λειτουργεί με μέριμνα της Snam Rete Gas, θυγατρικής της ENI. Η διάμετρος των 2 σωλήνων κυμαίνεται από 1070mm έως 1220mm.^[72]

Ο αγωγός Galsi είναι ένας αγωγός που αναμένεται να σχεδιαστεί ώστε να συνδέσει την Αλγερία με την Ιταλία. Αναμένεται να λειτουργήσει το 2018 και να έχει ετήσια δυναμικότητα 8bcm. Αποτελείται από δύο τμήματα, το διεθνές κομμάτι ξεκινώντας από την Αλγερία φτάνοντας στη Νότια Σαρδηνία στο Porto Botte. Θα αποτελεί τον αγωγό με το μεγαλύτερο βάθος που θα έχει κατασκευαστεί ποτέ. Το δεύτερο μέρος θα είναι το εγχώριο, από το Porto Botte στο Oblia και από κει υποθαλάσσια στο Piombino στην Τοσκάνη. Ο αγωγός Galsi περιλαμβάνεται στα έργα ευρωπαϊκού ενδιαφέροντος. Η Ευρωπαϊκή Ένωση χορήγησε 120 εκατ. Ευρώ για να χρηματοδοτήσει την κατασκευή του στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Ενεργειακού Σχεδίου για την Ανάκαμψη (EEPR). Το έργο αναμένεται να δημιουργήσει έναν κόμβο τροφοδοσίας φυσικού αερίου στην Ιταλία, να παρέχει αέριο στη Σαρδηνία και να ενισχύσει την ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης.^[73]

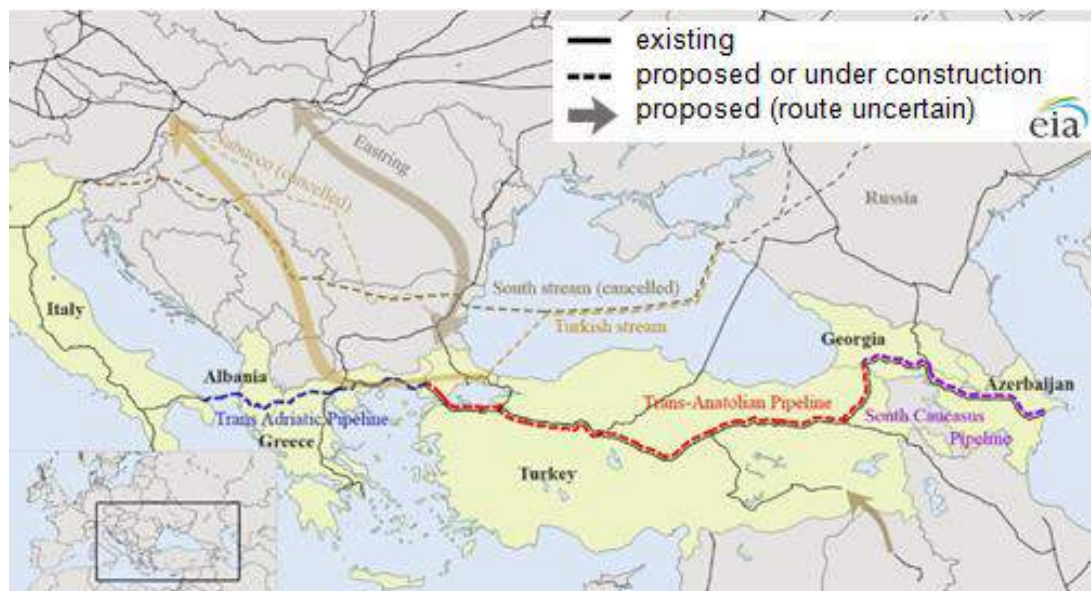
4.2.4 Αγωγοί Φυσικού Αερίου από τη Μέση Ανατολή

Η Μέση Ανατολή αποτελεί μια καλή εναλλακτική για την Ευρώπη αφού έχει πλούσια παραγωγή αερίου και κυρίως από το Ιράν, το Αζερμπαϊτζάν και το Τουρκμενιστάν. Διαθέτει πυκνό και ανεπτυγμένο δίκτυο αγωγών που αναμένεται να βελτιωθεί και άλλο σε αντίθεση με την Αφρική. Το Ιράν έχει σύμφωνα με το Ιρανικό Υπουργείο Πετρελαίου περίπου το 15.8% των αποθεμάτων του κόσμου, καθιστώντας τη πολύ σημαντική δύναμη μετά τη Ρωσία. Ενώ στο Αζερμπαϊτζάν τα μεγαλύτερα αποθέματα αερίου βρίσκονται στην περιοχή Shah Deniz στην Κασπία θάλασσα.

Οι αγωγοί από την Μέση Ανατολή είναι ιδιαίτερης σημασίας για την Ευρώπη, αφού υλοποιούν αυτό που ονομάζεται Νότιος Διάδρομος (South Corridor). Αποτελεί μία πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής να εφοδιαστεί η Ευρώπη με αέριο από την Κασπία θάλασσα και τις άλλες περιοχές της Μέσης Ανατολής. Με μήκος που υπερβαίνει τα 4.000 χλμ., θα διέρχεται από επτά χώρες και στην κατασκευή του θα συμμετάσχουν περισσότερες από δώδεκα κορυφαίες εταιρείες ενέργειας. Οι βασικές χώρες που είχε η Ευρώπη ως εναλλακτικές ήταν το Αζερμπαϊτζάν, η Τουρκία, η Γεωργία, το Τουρκμενιστάν, το Καζακστάν, το Ιράκ, την Αίγυπτο και το Mashreq. Βασικός στόχος είναι η εν μέρει ανεξαρτητοποίηση από το μονοπώλιο της Ρωσίας. Από το Αζερμπαϊτζάν ο Νότιος Διάδρομος περιλαμβάνει τους αγωγούς South Caucasus, Trans-Anatolian Pipeline και τον Trans-Adriatic Pipeline. Αρχικά είχαν σχεδιαστεί οι αγωγοί Nabucco, White Stream και ITGI. Ο Nabucco αντικαταστάθηκε από τον αγωγό Trans-Adriatic. Ο White Stream πάγωσε ως σχέδιο. Ο αγωγός ITGI αποτελεί έναν αγωγό που θα ένωνε την Τουρκία, την Ελλάδα και την Ιταλία. Όμως

έως σήμερα έχει υλοποιηθεί μόνο το κομμάτι που ενώνει την Ελλάδα με την Τουρκία και το μέλλον του υπόλοιπου αγωγού είναι αβέβαιο λόγω του ότι υπάρχει ο ανταγωνιστικός Trans-Adriatic.^[74]

Ο Νότιος Διάδρομος.



Σχήμα 51: Ο Νότιος Διάδρομος.

Σε αυτά τα έργα ιδιαίτερα σημαντική είναι η θέση που έχει η Τουρκία. Λόγω της ιδιαίτερης γεωγραφικής της θέσης αποτελεί κόμβο διαμετακόμισης αερίου προς την Ευρώπη. Αποτελεί σημείο συγκέντρωσης, τόσο αγωγών που έρχονται από τη Ρωσία όσο και από τη Μέση Ανατολή. Ακόμη, εμφανίζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον αφού αποτελεί έναν ισχυρό παίχτη στην αγορά φυσικού αερίου με ετήσια κατανάλωση 39.6bcm και είναι σε θέση και λόγω της θέσης της να καθορίζει τιμές και να διαπραγματεύεται. Συνεπώς, οι αποφάσεις της και οι σχέσεις που εκείνη διατηρεί με τις χώρες-προμηθευτές επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την εναλλακτική αυτή διαδρομή αγωγών για την Ευρώπη.

Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή των βασικών αγωγών που προέρχονται από τη Μέση Ανατολή και βρίσκονται σε λειτουργία ή υπό κατασκευή.

Αγωγός φυσικού αερίου South-Caucasus

Ο αγωγός αυτός, που φέρει και το όνομα Baku–Tbilisi–Erzurum Pipeline, BTE Pipeline, ή Shah Deniz Pipeline, μεταφέρει φυσικό αέριο από το πεδίο Shah Deniz του Αζερμπαϊτζάν στην Τουρκία και τη Γεωργία και κινείται παράλληλα με τον αγωγό πετρελαίου Baku–Tbilisi–Ceyhan. Οι δύο αγωγοί κατασκευάστηκαν από κοινού για να μειωθούν τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά κόστη και να υπάρχει όφελος συνέργειας.

Η εταιρεία SCP αποτελεί τον κατασκευαστή και διαχειριστή ολόκληρου του έργου. Όσον αφορά το τεχνικό τμήμα η BP επιβλέπει την κατασκευή και λειτουργία ενώ η SOCAR Midstream Operations Limited, αποτελεί τον εμπορικό διαχειριστή, υπεύθυνη για τη διοίκηση.

Το μήκος του αγωγού είναι 691 χιλιόμετρα, με 443 χιλιόμετρα στο Αζερμπαϊτζάν και 248 στη Γεωργία. Η διανομή αερίου στο Αζερμπαϊτζάν ξεκίνησε το 2006 ενώ στην Τουρκία το 2007. Η ετήσια δυναμικότητα του αγωγού είναι 16bcm ενώ γίνεται σχέδιο αναβάθμισής του. Πρόκειται για το δεύτερο στάδιο του έργου με όνομα Shah Deniz Stage 2 με αύξηση της δυναμικότητας σε 25bcm.^[75]

Αγωγός φυσικού αερίου Tabriz-Ankara

Πρόκειται για έναν αγωγό που ξεκινά από το βορειοδυτικό Ιράν και καταλήγει στην Ankara της Τουρκίας. Στο Erzurum απ' όπου περνάει ο αγωγός συνδέεται με τον αγωγό South Caucasus, που αναλύθηκε στην παραπάνω παράγραφο.



Σχήμα 52: Ο αγωγός φυσικού αερίου Tabriz Ankara.⁷⁶

Έχει συνολικό μήκος 2.577 χιλιόμετρα και μέγιστη ικανότητα μεταφοράς 14bcm το χρόνο. Το μέρος που ανήκει στην Τουρκία λειτουργεί υπό τον έλεγχο της εταιρείας BOTAS και εισάγει κατά μέσο όρο 11bcm ετησίως. Το τμήμα αυτό κόστισε περίπου 600 εκατομμύρια δολάρια. Το τμήμα του Ιράν ανήκει στην εθνική εταιρεία πετρελαίου του Ιράν.

Το έργο ξεκίνησε να κατασκευάζεται το 1996 και ολοκληρώθηκε το 2001. Έχει αποτελέσει στόχο των ανταρτών ενώ ανά διαστήματα αναγκάστηκε να μειώσει την παροχή ή να τη σταματήσει εντελώς, όταν σταμάτησε η προμήθεια αερίου από το Τουρκμενιστάν.^[77]

Αγωγός φυσικού αερίου Trans-Anatolian (Tanap)) (υπό κατασκευή)

Ο αγωγός αυτός (στα τουρκικά αναφέρεται ως Trans-Anadolu Doğalgaz Boru Hattı) είναι ο αγωγός που αποτελεί συνδετικό κρίκο μεταξύ των αγωγών South Caucasus (SCP) και TAP και είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά σε Τουρκία και προς την Ευρώπη από το Αζερμπαϊτζάν.

Η μεταφορική ικανότητα ετησίως του αγωγού είναι σε αρχικό στάδιο 16bcm όμως μελλοντικά θα αυξηθεί στα 24bcm το 2023 και με προοπτικές περαιτέρω αύξησης. Η αύξηση αυτή θα γίνει προσθέτοντας παράλληλα συστήματα και σταθμούς συμπίεσης.

Ο αγωγός θα ξεκινά από τα σύνορα με τη Γεωργία εκεί που τελειώνει ο αγωγός SCP, θα περάσει από 20 περιοχές και πάνω περιοχές της Τουρκίας περιλαμβανομένου του Erzurum και θα σταματά στην περιοχή Ipsala. Από κει θα συνδέεται με τον αγωγό TAP.

Το πρόγραμμα ανακοινώθηκε το 2011, ξεκίνησε το 2015 και αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2018. Το συνολικό μήκος του αγωγού ανέρχεται στα 1.850 χιλιόμετρα, περιλαμβάνοντας 7 σταθμούς συμπίεσης και 4 μετρητικούς σταθμούς και 49 θέσεις βαλβίδων.^[78]

Επίσης θα υπάρχουν δύο σταθμοί όπου ο αγωγός θα ενώνεται με άλλους αγωγούς από το εθνικό δίκτυο φυσικού αερίου της Τουρκίας, ο ένας θα βρίσκεται στο Εσκή Σεχίρ και ο άλλος στη Θράκη.^[79]

Τον αγωγό αυτό θα διαχειρίζεται η εταιρεία SOCAR, η οποία διαθέτει το 58% του έργου. Ο λειτουργός του αγωγού στην Τουρκία, η BOTAS, έχει το 30% ενώ η BP απέκτησε το 12% το 2015.

Ο αγωγός αυτός είναι ιδιαίτερης στρατηγικής σημασίας τόσο για την Τουρκία όσο και για το Αζερμπαϊτζάν. Η πρώτη μετατρέπεται σε σημαντικό κόμβο φυσικού αερίου και ενισχύεται ο ρόλος της στη συγκεκριμένη αγορά ενέργειας. Από την άλλη το αέριο του Αζερμπαϊτζάν βρίσκει διέξοδο για πρώτη φορά στις ευρωπαϊκές αγορές όπως και στην αγορά της Τουρκίας.

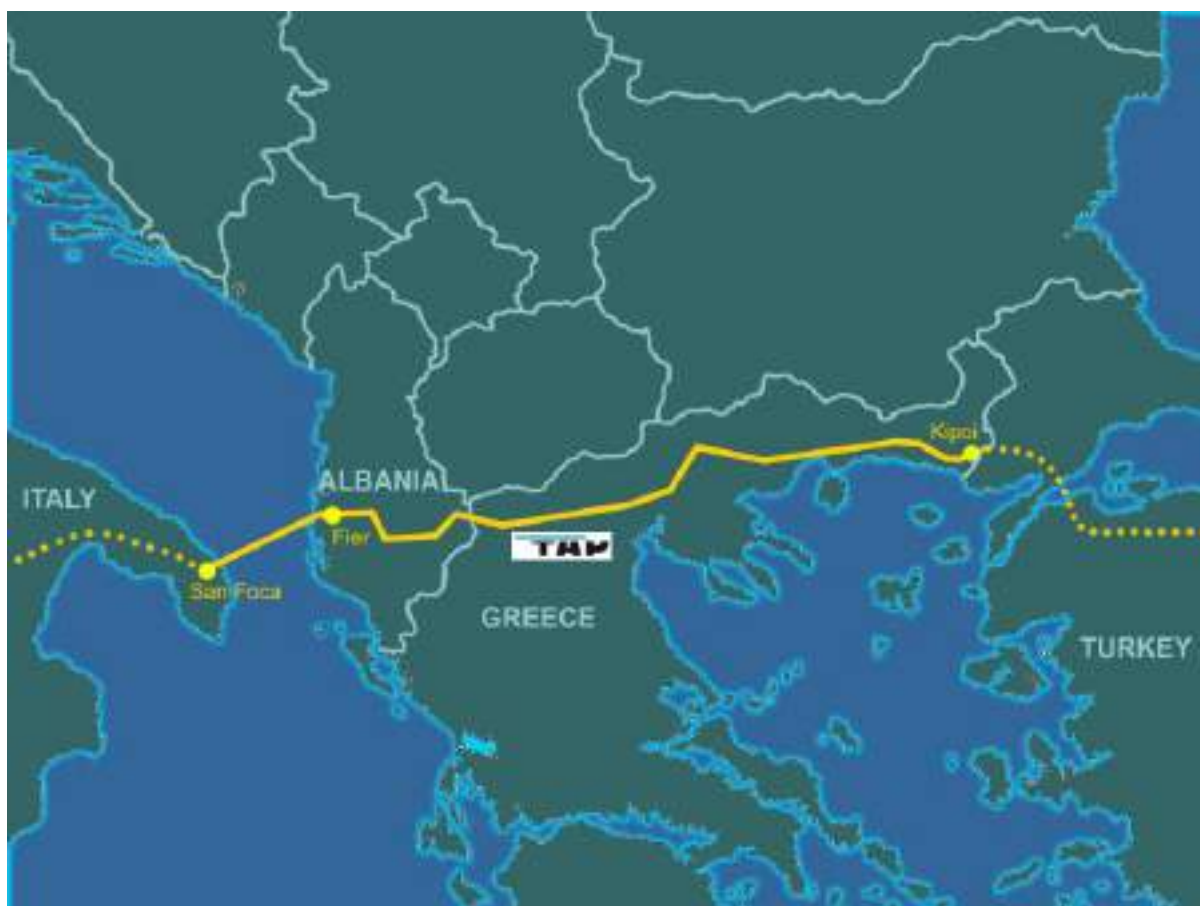
Αγωγός φυσικού αερίου Trans Adriatic (TAP) (υπό κατασκευή)

Ο Αδριατικός αγωγός φυσικού αερίου όπως ονομάζεται στα ελληνικά, αποτελεί έναν αγωγό που κατασκευάζεται και είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά του φυσικού αερίου από το Αζερμπαϊτζάν μετά τον αγωγό TANAP. Ξεκινά από τα ελληνοτουρκικά σύνορα στη Θράκη, διασχίζει έπειτα την Αλβανία και περνώντας από την Αδριατική θάλασσα υποθαλάσσια φτάνει στα παράλια της Ιταλίας κοντά στο Σαν Φόκα.

Η ανακοίνωση του έργου έγινε το 2003. Κατά την μελέτη υπήρχαν δύο εναλλακτικές διαδρομές που έπρεπε να αξιολογηθούν. Η βόρεια διαδρομή που θα περνούσε μέσω της Βουλγαρίας, της Πρώην Γιουγκοσλαβικής Δημοκρατίας της Μακεδονίας και της Αλβανίας και η νότια διαδρομή μέσω της Ελλάδας και της Αλβανίας. Τελικά επιλέχθηκε η νότια διαδρομή ως πιο πραγματοποιήσιμη. Η κατασκευή του αγωγού ξεκίνησε το 2016

Το συνολικό μήκος του αγωγού θα είναι 878 χιλιόμετρα, από τα οποία 550 στην Ελλάδα, 215 στην Αλβανία, 105 υποθαλάσσια, και 8 χιλιόμετρα στην Ιταλία. Το υποθαλάσσιο τμήμα θα βρίσκεται σε μέγιστο βάθος 820 μέτρων. Το μέγιστο ύψος που φτάνει είναι στα αλβανικά όρη και ανέρχεται στα 1.800 μέτρα. Η δυναμικότητα μεταφοράς του αγωγού ανέρχεται στα 10 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως, με τη δυνατότητα αύξησης της δυναμικότητας στα 20 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Θα χρησιμοποιηθούν σωλήνες διαμέτρου 1.200 χιλιοστών στο τμήμα της στεριάς και διαμέτρου 910 χιλιοστών στο υποθαλάσσιο τμήμα. Το χερσαίο κομμάτι του αγωγού μήκους 773 χιλιομέτρων θα έχει διάμετρο 1.2m ενώ το υποθαλάσσιο κομμάτι 910mm. Θα διαθέτει δύο σταθμούς συμπίεσης, έναν στους Κήπους στην Ελλάδα και έναν στην πόλη Fier στην Αλβανία. Με την αναβάθμιση του αγωγού θα δημιουργηθούν ακόμη δύο σταθμοί συμπίεσης.[80]

Σε όλο του το μήκος θα γίνει διασύνδεση με λοιπούς αγωγούς, υπάρχοντες αλλά και προτεινόμενους για κατασκευή, ώστε να διασφαλιστεί η μεταφορά του αερίου σε μεγάλο μέρος της Ευρώπης.



Σχήμα 53: Ο αγωγός φυσικού αερίου TAP.⁸¹

Ο όμιλος επιχειρήσεων EGL Group και η νορβηγική εταιρία ενέργειας Statoil, υπέγραψαν μια συμφωνία ώστε να συσταθεί η κατασκευάστρια κοινοπραξία Trans Adriatic Pipeline AG με σκοπό την υλοποίηση του σχεδιασμού, την κατασκευή και την εκμετάλλευση του αγωγού μεταφοράς φυσικού αερίου. Μέτοχοι της εταιρείας είναι οι BP (20%), SOCAR (20%), Snam (20%), Fluxys (19%), Enagas (16%) και Axpo (5%). Το συνολικό κόστος κατασκευής ανέρχεται στο ποσό του 1.5 δις ευρώ.

Πρόκειται για ένα αγωγό, μέρος του Νότιου Διαδρόμου αερίου, που θα ενισχύσει την ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης και θα έχει σημαντικό θετικό αντίκτυπο και στις χώρες τις οποίες διασχίζει, προσφέροντας στρατηγικά και οικονομικά οφέλη.

Στους παρακάτω δύο Πίνακες βλέπουμε συγκεντρωτικά τους αγωγούς που τροφοδοτούν την Ευρώπη, άρα και το σύστημά μας.

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας αγωγών φυσικού αερίου από Ρωσία και Β. Θάλασσα.

	Όνομα Αγωγού	Χώρες	Μήκος (km)	Διάμετρος (mm)	Δυναμικότητα (bcm/year)	Σταθμοί Συμπίεσης	Κόστος Κατασκευής
Ρωσία	Nord Stream	Ρωσία	2*1224	1220	2*22.5 (110/2019)		7.4 δισεκ. €
		Γερμανία					
	Yamal-Europe	Ρωσία	402	1420	33	14	36 δισεκ. \$
		Λευκορωσία	575				
		Πολωνία	683				
	Northern Lights	Ρωσία-Λευκορωσία	3*454	1200	51	6	
		Λευκορωσία-Ουκρανία	2*146	1220			
		Λευκορωσία-Πολωνία	87	1020			
		Λευκορωσία-Λιθουανία	196	1220			
		Ρωσία-Ουκρανία	364	1420			
	Brotherhood	Ρωσία	3340	1420	>100	42	
		Ουκρανία	1160				
	Soyuz	Ρωσία	1180	1420	26.1 (32)	12	227.8 εκατ. USD
		Ουκρανία	1567				
	Blue Stream	Ρωσία	373	1200	16		3.2 δισεκ. USD
		Μαύρη Θάλασσα	396	610			
		Τουρκία	444	1400			
	Turkstream (υπό κατασκευή)	Ρωσία	2*910	810	31.5		11.4 δισεκ. €
		Μαύρη Θάλασσα					
		Τουρκία					
Βόρεια Θάλασσα	Vesterled	Βόρεια Θάλασσα	361	813	12		
		Σκωτία					
	Fulmar	Βόρεια Θάλασσα	290	510	4.4		
		Σκωτία					
	Cats	Βόρεια Θάλασσα	404	910	48mcm/day		
		Αγγλία					
	Statpipe	Βόρεια Θάλασσα	890	762	18.9		
		Νορβηγία					
	Franpipe	Βόρεια Θάλασσα	840	1067	19.6		10.6 δισεκ. NOK
		Γαλλία					
	Norpipe	Βόρεια Θάλασσα	443	914	16		26.4 δισεκ. NOK
		Γερμανία					
	Europipe I	Βόρεια Θάλασσα-Dornum	620	1016	18		21.3 δισεκ. NOK
		Dornum-Emden	48				
	Europipe II	Νορβηγία	13	1067	24		9.6 δισεκ. NOK
		Γερμανία	15				
		Βόρεια Θάλασσα	642				
	Zeepipe	Βόρεια Θάλασσα	814	1000	15		24.2 δισεκ. NOK
		Βέλγιο					

Πίνακας 4 Συγκεντρωτικός πίνακας αγωγών φυσικού αερίου από Αφρική και Μ. Ανατολή.

	Όνομα Αγωγού	Χώρες	Μήκος (km)	Διάμετρος (mm)	Δυναμικότητα (bcm/year)	Σταθμοί Συμπίεσης	Κόστος Κατασκευής
Αφρική	Greenstream	Λιβύη	520	810	8 (11)	1	6.6 δισεκ.\$
		Ιταλία					
	Maghreb	Αλγερία	515	1200	12	2	2.3 δισεκ. \$
		Μαρόκο	522	1200			
		Μεσόγειος	2*27	560			
		Ισπανία	269	1200			
		Πορτογαλία	269	1200			
	Medgaz	Αλγερία	547	1200	8	1	900 εκατ. €
		Μεσόγειος	210	610			
		Ισπανία					
	Transmed	Αλγερία	550	1220	30.2 (33.5/2012)	6	6.25 εκατ. €
		Τυνησία	370				
		Ιταλία	1400				
		Σικελία	155	510/660			
Μέση Ανατολή	South Caucasus	Αζερμπαϊτζάν	443	1070	16 (25/2017)		1 δισεκ.\$
		Γεωργία	248				
		Τουρκία	1078				
	Tabriz Ankara	Ιράν	2577	1070	14		600 εκατ.\$ το τουρκικό τμήμα
		Τουρκία					
	Tanap (υπό κατασκευή)	Τουρκία	1850	1200/1400	16 (31)	7	11.7 δισεκ. \$
	Trans Adriatic (TAP) (υπό κατασκευή)	Ελλάδα	550	1200	10 (20)	2 (4)	1.5 δισεκ. €
		Αλβανία	215	1200			
		Αδριατική	105	910			
		Ιταλία	8	1200			

4.3 Υπολογιστικά Εργαλεία

AMPL

Η AMPL (A Mathematical Programming Language) είναι μία αλγεβρική γλώσσα μοντελοποίησης για να περιγράψει και να λύνει προβλήματα υψηλής πολυπλοκότητας και κλίμακας μαθηματικών υπολογισμών. Είναι μια ολοκληρωμένη και ισχυρή αλγεβρική γλώσσα μοντελοποίησης για γραμμικά και μη γραμμικά προβλήματα βελτιστοποίησης, σε διακριτές ή συνεχείς μεταβλητές.



Η AMPL χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική για να βελτιστοποιήσουμε τη ροή του φυσικού αερίου στο δίκτυο αγωγών σε όλα τα σενάρια που θα αναλυθούν στη συνέχεια, με τη μέθοδο "Minimum Cost Flow" εξάγοντας σημαντικά συμπεράσματα για την ενεργειακή ασφάλεια φυσικού αερίου στην Ευρώπη.

Microsoft Excel

Η εφαρμογή ενός υπολογιστικού φύλλου Microsoft Excel δίνει τη δυνατότητα για:

- Οργάνωση δεδομένων σε στήλες και γραμμές
- Επεξεργασία δεδομένων με ταχύτητα και ακρίβεια
- Αυτοματοποίηση εκτέλεσης πράξεων
- Επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων
- Παρουσίαση πληροφοριών που εμπεριέχονται στα δεδομένα με τη μορφή γραφημάτων

Το Microsoft Excel χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική για την ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων σχετικά με την παραγωγή και ζήτηση του φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Επίσης, δημιουργήθηκαν συγκεντρωτικοί πίνακες με αποτελέσματα από το μοντέλο στο AMPL, δίνοντας μας τη δυνατότητα να αναλύσουμε και να εξάγουμε σημαντικά συμπεράσματα. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε για να αποκωδικοποιήσουμε το δίκτυο αγωγών του φυσικού αερίου και στη συνέχεια να εισάγουμε τα απαραίτητα μητρώα που χρειάστηκαν για να λειτουργήσει το μοντέλο στο AMPL.

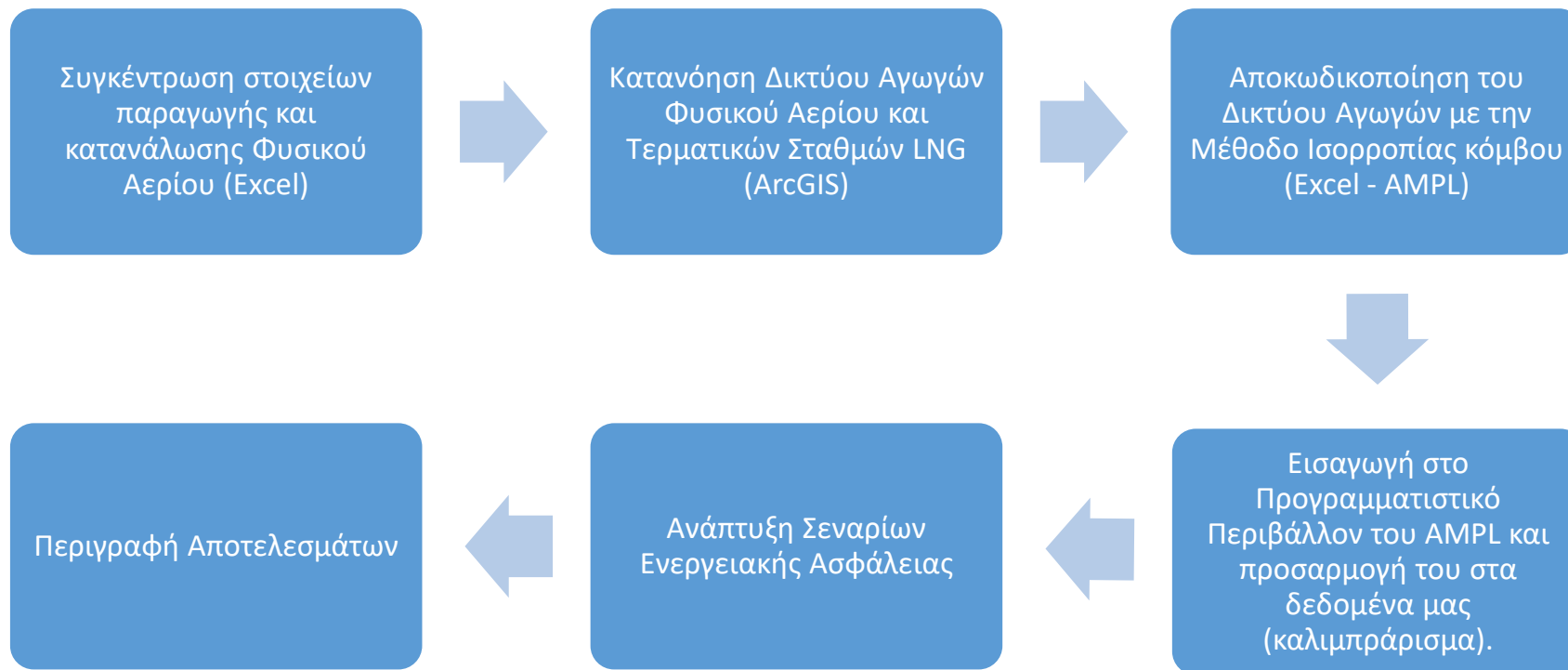
ArcGIS

Το λογισμικό ArcGIS αποτελείται από ένα σύνολο υπο-προγραμμάτων καθένα από τα οποία εκτελεί διαφορετικό σύνολο διεργασιών, όπως για παράδειγμα το υπο-πρόγραμμα ArcMap που χρησιμοποιείται για την εισαγωγή, επεξεργασία και αποθήκευση των δεδομένων, καθώς και για περαιτέρω χωρική επεξεργασία τους. Επιμέρους προγράμματα όπως το Catalog και το ArcToolbox αποτελούν βασικά βοηθήματα για το ArcMap. Συγκεκριμένα, το Catalog, περιέχει εργαλεία για τη δημιουργία των επιπέδων πληροφορίας, ενώ το ArcToolbox περιέχει ειδικά εργαλεία ανάλυσης και επεξεργασίας των επιπέδων πληροφορίας, καθώς επίσης και το Search για την αναζήτηση τοπικά ή στον παγκόσμιο ιστό τόσο των επιπέδων πληροφορίας, όσο και των επιμέρους εργαλείων επεξεργασίας.

Το ArcGIS χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική για την επεξεργασία και ανάλυση του δικτύου αγωγών φυσικού αερίου της Ευρώπης.

4.4 Διαμόρφωση Μοντέλου

Η πορεία που ακολουθήσαμε για την δημιουργία ενός μοντέλου που θα αποτύπωνε όσο πιο πιστά την πραγματικότητα του συστήματος τροφοδοσίας φυσικού αερίου της Ευρώπης είναι η εξής:



Σχήμα 54: Διάγραμμα ροής δημιουργίας μοντέλου.

Βήμα 1: Συγκέντρωση στοιχείων που αφορούν το ενεργειακό προφίλ κάθε χώρας.
Τα στοιχεία αυτά αφορούσαν τις παρακάτω περιοχές:

- Ευρώπη των 28 και υπόλοιπες χώρες της Ευρώπης.
- Την Ρωσία και την Τουρκία
- Χώρες της Ευρασίας
- Χώρες της Μέσης Ανατολής
- Χώρες της Αφρικής

Για κάθε χώρα έχουμε συγκεντρώσει στοιχεία που είναι απαραίτητα για την κατανόηση της ενεργειακής κατάστασής της. Τέτοια στοιχεία είναι:

- ο Η συνολική κατανάλωση ενεργειακών αναγκών
- ο Η κατανάλωση των δύο βασικών ορυκτών καυσίμων του πετρελαίου και του φυσικού αερίου με έμφαση στο φυσικό αέριο
- ο Η τοπική παραγωγή του φυσικού αερίου και πετρελαίου κάθε χώρας
- ο Τα αποθέματα των δυο καυσίμων
- ο Το κόστος παραγωγής
- ο Τον πληθυσμό κάθε χώρας.

Στη συνέχεια διαχωρίσαμε τις παραπάνω χώρες σε δύο κατηγορίες: τους παραγωγούς και τους καταναλωτές. Αυτό έγινε με γνώμονα το ενεργειακό ισοζύγιο κάθε χώρας. Δηλαδή αν το αποτέλεσμα της πράξης:

Τοπική Παραγωγή (πετρελαίου ή φυσικού αερίου) – Κατανάλωση (πετρελαίου ή φυσικού αερίου)

έχει θετικό πρόσημο, τότε η συγκεκριμένη χώρα θεωρείται παραγωγός, αν

έχει αρνητικό πρόσημο, τότε η συγκεκριμένη χώρα θεωρείται καταναλωτής.

Τα συμπεράσματά μας μετά από αυτή την διαδικασία ήταν:

Πρώτον αν μια χώρα είναι παραγωγός πετρελαίου τότε είναι και παραγωγός φυσικού αερίου με ελάχιστες εξαιρέσεις όπως είναι η Δανία και η Ολλανδία που είναι σύμφωνα με τα στοιχεία μας παραγωγός μόνο φυσικού αερίου. Κάτι τέτοιο δικαιολογείται καθώς τα κοιτάσματα πετρελαίου συμπίπτουν κατά κύριο λόγο με τα κοιτάσματα του φυσικού αερίου.

Δεύτερο συμπέρασμα και το πιο σημαντικό ίσως, από άποψη ενεργειακής ασφάλειας αλλά και ενεργειακών ροών, ήταν η αποτύπωση της ενεργειακής αγοράς. Συγκεκριμένα κατανοήθηκε ότι οι ευρωπαϊκές χώρες παίζουν το ρόλο των καταναλωτών και τροφοδοτούνται από τις χώρες της Μέσης Ανατολής, τις χώρες της Αφρικής αλλά και από την σημαντικότερη χώρα παραγωγό όπως διαπιστώθηκε την Ρωσία.

Εν συνεχεία, επιλέξαμε να επικεντρωθούμε στην αγορά του Φυσικού Αερίου, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης του, αλλά και λόγω και της πρόβλεψης διείσδυσής του σε τομείς που παλιότερα το πετρέλαιο κατείχε μονοσήμεντο ρόλο, όπως ο τομέας των μεταφορών αλλά και ο οικιακός τομέας. Τέλος ένας ακόμη σημαντικός λόγος είναι “καθαρότερος περιβαλλοντικός χαρακτήρας” του φυσικού αερίου έναντι του πετρελαίου.

Βήμα 2: Η κατανόηση δικτύου αγωγών φυσικού αερίου έγινε χρησιμοποιώντας έναν απλοποιημένο χάρτη που αποτυπώνει τους βασικούς αγωγούς φυσικού αερίου. Ο κάθε αγωγός έχει αρχή και τέλος και υποδηλώνει μια ροή φυσικού αερίου με συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η αρχή και το τέλος κάθε αγωγού είναι χώρες που για το σύστημα μας θα ονομάζονται κόμβοι.

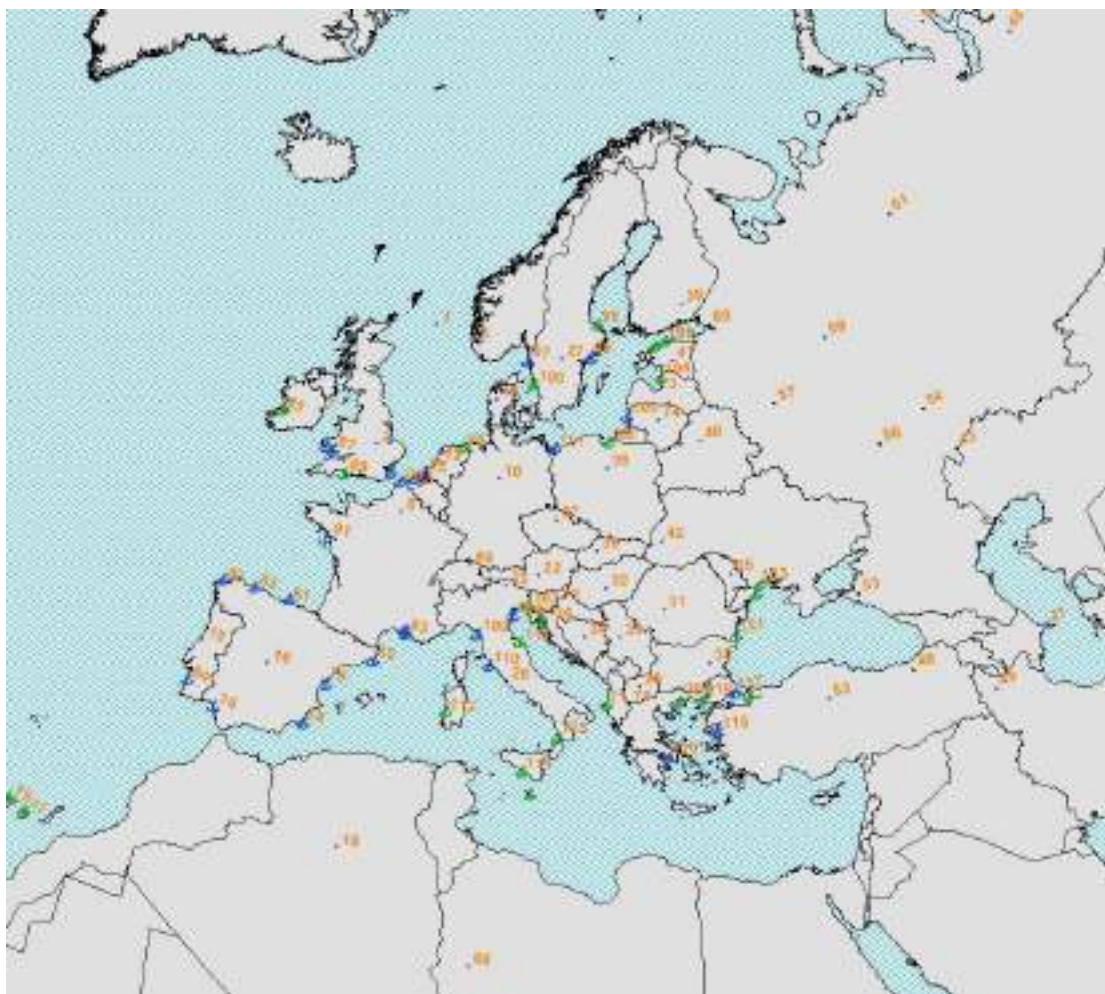
Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 55) αποτυπώνονται οι κόμβοι του συστήματος των αγωγών φυσικού αερίου (108 κόμβοι) καθώς και οι υφιστάμενοι (με μπλε χρώμα) και μελλοντικοί σταθμοί LNG (πράσινο χρώμα). Στο Σχήμα 56, διακρίνονται οι τέσσερις πόλοι τροφοδοσίας των ευρωπαϊκών χωρών: 1) η Ρωσία, 2) τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας, 3) οι χώρες της Αφρικής και 4) τα κοιτάσματα της Κασπίας Θάλασσας – Ιράν. Στον χάρτη αυτό αποτυπώνονται 144 διαδρομές εκ των οποίων, οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα και οι διαδρομές των LNG με πράσινο χρώμα.

Βήμα 3: Αποκωδικοποίηση του δικτύου των αγωγών φυσικού αερίου και σταθμών LNG με την λογική της ισορροπίας κόμβου.

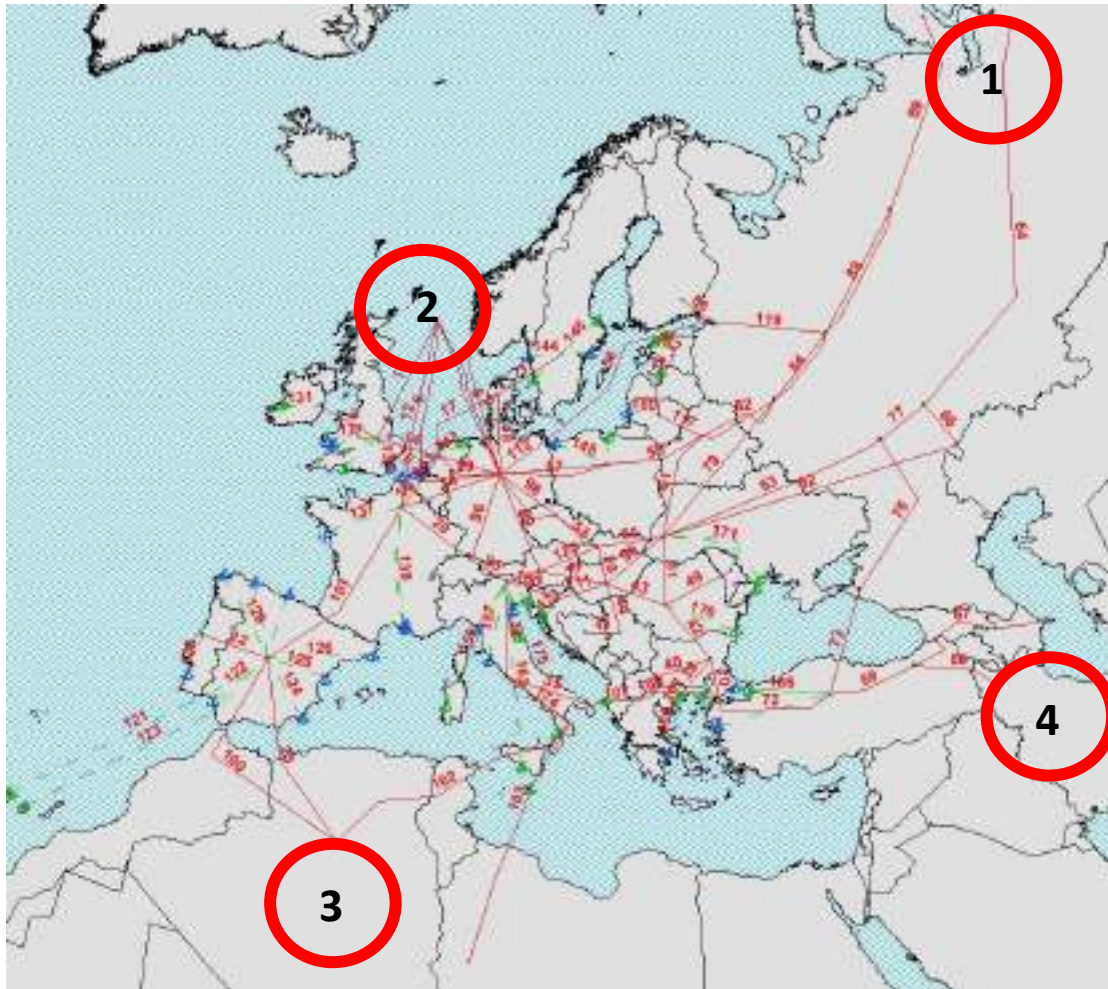
Σε αυτό το σημείο δημιουργούνται τα μητρώα – πίνακες που χρειάζονται για το AMPL και την προσομοίωση διάφορων σεναρίων που σχετίζονται με την ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης για θέματα φυσικού αερίου.

Δημιουργήθηκαν πέντε μητρώα που περιέχουν διάφορες πληροφορίες για τους αγωγούς αλλά και τα κράτη – κόμβους. Συγκεκριμένα:

- Μητρώο Προσφοράς – Ζήτησης (Param B): Είναι το μητρώο που αναφέρεται στους κόμβους του μοντέλου μας. Εδώ εισάγεται η ζήτηση κάθε χώρας με αρνητικό πρόσημο αν πρόκειται για καταναλώτρια χώρα ή η παραγωγή – προσφορά με θετικό πρόσημο αν πρόκειται για χώρα παραγωγό. Όλες οι τιμές αναφέρονται σε bcm.



Σχήμα 55: Χάρτης με τις χώρες – κόμβους του μοντέλου μας.



Σχήμα 56: Χάρτης με τους αγωγούς και τους σταθμούς LNG (υφιστάμενους και μελλοντικούς).

- Μητρώο Χωρητικότητας Αγωγών (Param Fcap): Είναι το μητρώο που αναφέρεται στην χωρητικότητα των αγωγών του μοντέλου μας. Εισάγεται σε bcm η μέγιστη δυνατή χωρητικότητα κάθε αγωγού και λειτουργεί σαν ένας περιορισμός ροής του φυσικού αερίου στο δίκτυο μας.
- Μητρώο Κόστους (Param C): Είναι το μητρώο που αναφέρεται και αυτό στους αγωγούς του συστήματος μας και είναι το κριτήριο που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμός μας του minimum cost flow να “διαλέξει” τη διαδρομή του φυσικού αερίου. Στην περίπτωση μας έχουμε ορίσει σαν κόστος το πραγματικό μήκος του κάθε αγωγού, σύμφωνα με την βιβλιογραφία και όπου χρειάστηκε από το Google Maps. Αυτή η παραδοχή έγινε καθώς ο υπολογισμός κόστους μεταφοράς του φυσικού αερίου είναι πολύπλοκος και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως, τα τέλη διέλευσης που πληρώνονται στις χώρες που διέρχονται οι αγωγοί, από τα εκάστοτε

συμβόλαια που γίνονται μεταξύ προμηθευτή και καταναλωτή αλλά και πολλές φορές από τις σχέσεις μεταξύ των κρατών.

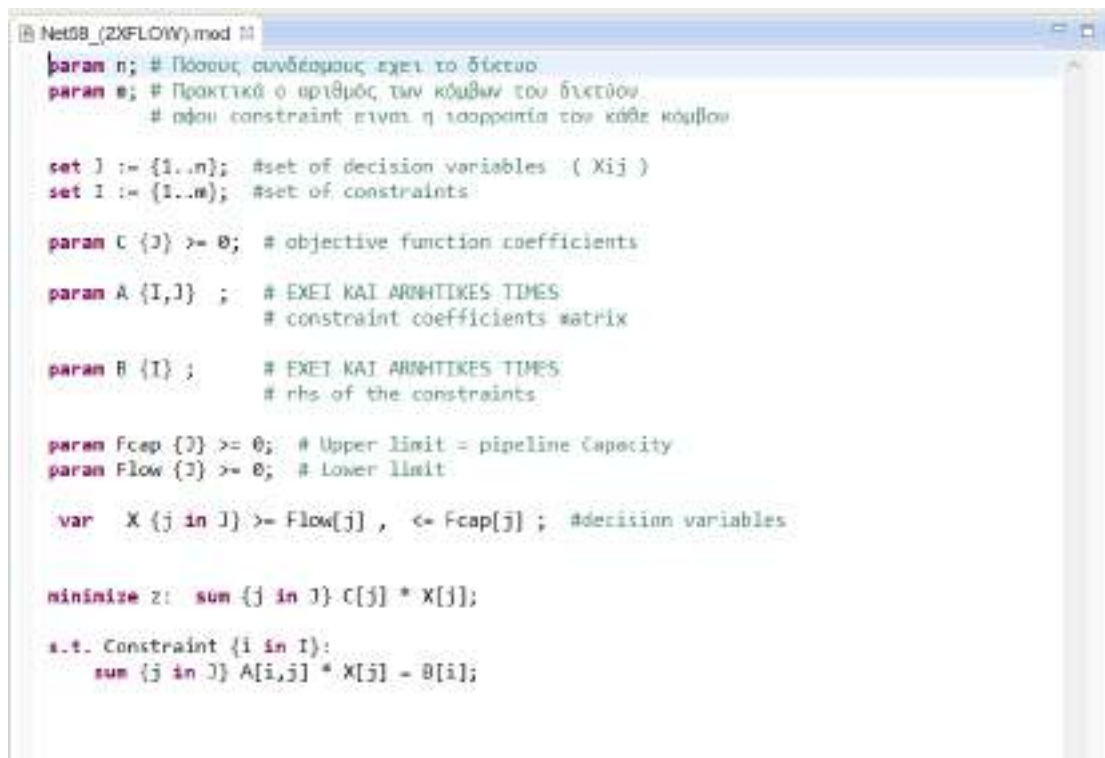
- Μητρώο Υποχρεωτικής Ροής (Param Flow): Ένα ακόμη μητρώο που αναφέρεται στους αγωγούς. Είναι και αυτό το μητρώο ένας περιορισμός καθώς ορίζεται ότι σε κάθε αγωγό πρέπει να περάσει θετική ή μηδενική ποσότητα φυσικού αερίου. Όπως είναι φυσικό οι τιμές αυτό του μητρώου είναι μηδενικές ή θετικός αριθμός. Το μητρώο αυτό μας δίνει την δυνατότητα να επιλέξουμε εμείς σαν χρήστες του μοντέλου μας μια συγκεκριμένη ροή ενός αγωγού που ίσως δεν ανταποκρίνεται στην μέθοδο ελάχιστου κόστους. Αυτό μας εξυπηρετεί στην πράξη να καλιμπράρουμε το μοντέλο μας σύμφωνα με τις πραγματικές συνθήκες ροής των αγωγών μας.
- Μητρώο Δικτύου (Param A): Πρόκειται για το πιο σημαντικό μητρώο που αποτυπώνει τις συνδέσεις των χωρών – κόμβων μας. Είναι ένας πίνακας με 108 γραμμές (χώρες) και 155 στήλες, όσοι είναι οι αγωγοί μας μαζί με τις διαδρομές των LNG. Οι τιμές των κελιών είναι 0, +1 -1. Ουσιαστικά αποτυπώνονται οι εξισώσεις που βασίζονται στην λογική του γραμμικού προγραμματισμού. Ένα απόσπασμα του Μητρώου Δικτύου διακρίνεται στο Πίνακας 5.

Ο Πίνακας 5 είναι ένα παράδειγμα του πως αποτυπώνεται το δίκτυο μας στο μητρώο A (Param A), άρα και στο προγραμματιστικό περιβάλλον του AMPL. Ο αγωγός 1 έχει αρχή την χώρα – κόμβο με τον αριθμό ένα (1) και τέλος την χώρα – κόμβο με τον αριθμό δύο (2). Σημαντικό είναι να αναφερθεί και η περίπτωση που ένας αγωγός λειτουργεί με δύο κατευθύνσεις (both way). Το μοντέλο μας “αντιλαμβάνεται” έναν ξεχωριστό αγωγό με αντιστροφή των +1 και -1 στους κόμβους. Για παράδειγμα αν στον παρακάτω πίνακα θέλαμε να δηλώσουμε ότι ο αγωγός 6 είναι διπλής κατεύθυνσης θα εισάγαμε ένα καινούριο αγωγό με αριθμό 12 στο τέλος του πίνακά μας με την αντιστροφή των +1 και -1 στους αντίστοιχους κόμβους, δηλαδή στον κόμβο πέντε θα έχει -1 και στον κόμβο επτά +1.

Πίνακας 5 Απόσπασμα Μητρώου Δικτύου.

[illegible]

Βήμα 4: Εισαγωγή στο Προγραμματιστικό Περιβάλλον του AMPL και προσαρμογή στα δεδομένα μας (καλιμπράρισμα).



```
Net58_(2XFLOW).mod 11
param n; # Πόσους συνδέσμους έχει το δίκτυο
param m; # Πρακτικά ο αριθμός των κόμβων του δικτύου
# όπου constraint είναι η ισορροπία του κάθε κόμβου

set J := {1..n}; #set of decision variables ( Xij )
set I := {1..m}; #set of constraints

param C {J} >= 0; # objective function coefficients

param A {I,J} ; # ΕΧΕΙ ΚΑΙ ΑΡΗΘΜΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ
# constraint coefficients matrix

param B {I} ; # ΕΧΕΙ ΚΑΙ ΑΡΗΘΜΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ
# rhs of the constraints

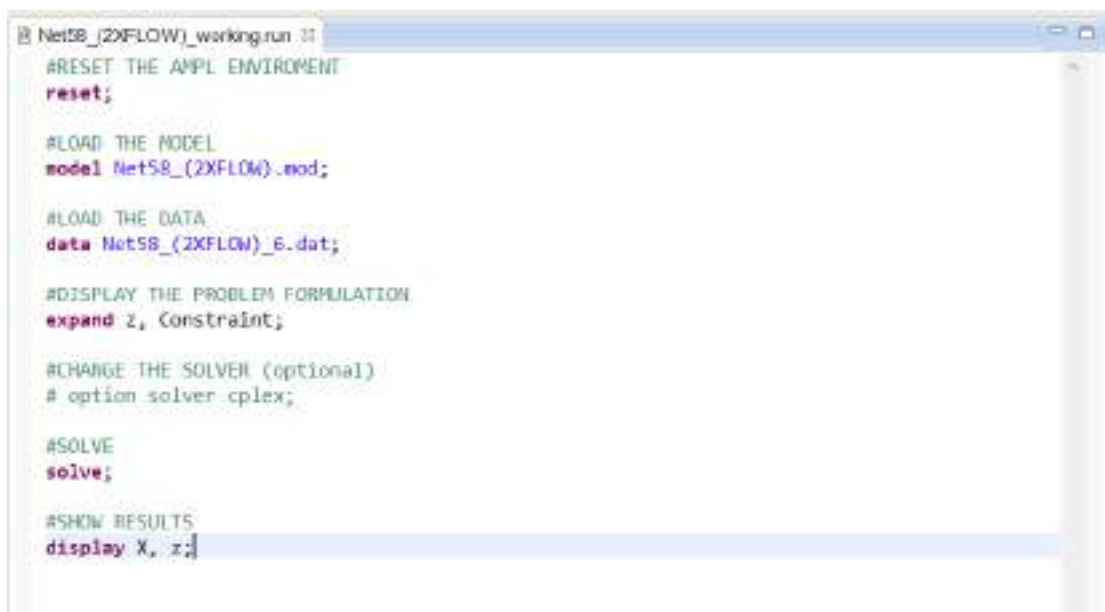
param Fcap {J} >= 0; # Upper limit = pipeline Capacity
param Flow {J} >= 0; # Lower limit

var X {j in J} >= Flow[j] , <= Fcap[j] ; #decision variables

minimize z: sum {j in J} C[j] * X[j];

s.t. Constraint {i in I}:
    sum {j in J} A[i,j] * X[j] = B[i];
```

Σχήμα 57: Αρχείο mod μεταβλητών, περιορισμών και εξισώσεων.



```
Net58_(2XFLOW)_working.run 11
#RESET THE AMPL ENVIRONMENT
reset;

#LOAD THE MODEL
model Net58_(2XFLOW).mod;

#LOAD THE DATA
data Net58_(2XFLOW)_6.dat;

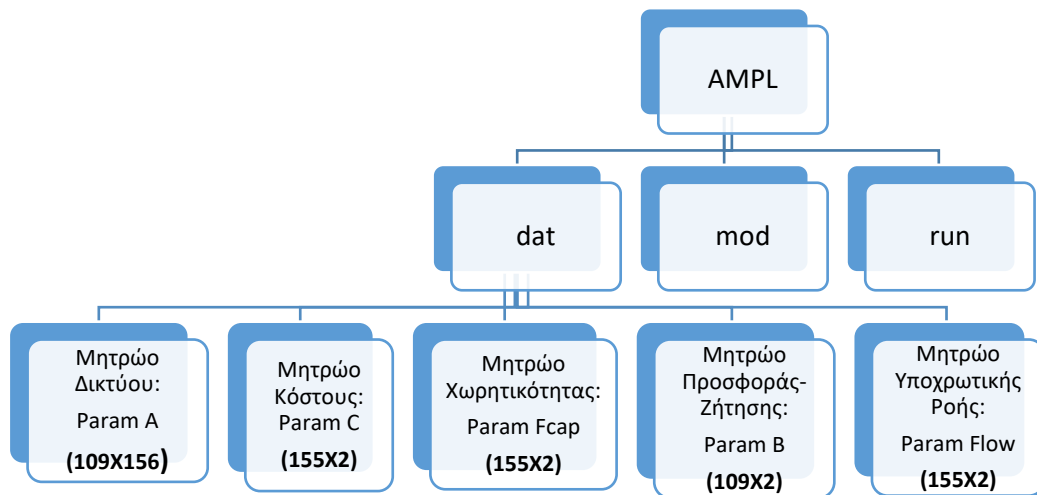
#DISPLAY THE PROBLEM FORMULATION
expand z, Constraint;

#CHANGE THE SOLVER (optional)
# option solver cplex;

#SOLVE
solve;

#SHOW RESULTS
display X, z;
```

Σχήμα 58: Αρχείο καθορισμού solver και εκτέλεσης προγράμματος.



Σχήμα 59: Πορεία επίλυσης στο προγραμματιστικό περιβάλλον του AMPL.

Το AMPL χρησιμοποιεί τρία αρχεία για να τρέξει το μοντέλο μας και να μας εμφανίσει τα κατάλληλα αποτελέσματα. Τα αρχεία mod, run, dat.

Στο αρχείο Όνομα.mod είναι γραμμένος ο αλγόριθμος που περιλαμβάνει και την μέθοδο ελάχιστου κόστους. Όπως φαίνεται και στο σχήμα στην αρχή δηλώνουμε τον αριθμό των κόμβων και των συνδέσμων. Στην περίπτωσή μας είναι οι χώρες και οι αγωγοί φυσικού αερίου. Στη συνέχεια εισάγεται το βασικό μας μητρώο, δηλαδή ο πίνακας που αποτυπώνει το δίκτυο μας (Param A). Ακολουθεί το μητρώο του κόστους (Param C) και το μητρώο Προσφοράς – Ζήτησης (Param B). Έπειτα εισάγονται οι παράμετροι – περιορισμοί του δικτύου μας (Flow και Fcap) και τέλος η συνθήκη του ελάχιστου κόστους.

Περιγραφή του Minimum Cost Flow

Το πρόβλημα ροής ελαχίστου κόστους αποτελεί μία γενικότερη περίπτωση του προβλήματος μεταφοράς (transportation problem) και λαμβάνει υπόψη την μεταφορική ικανότητα των γραμμών μεταφοράς. Το πρόβλημα της ροής ελάχιστου κόστους συνίσταται στον προσδιορισμό του πιο οικονομικού τρόπου μεταφοράς μιας ορισμένης ποσότητας ροής διαμέσου ενός δικτύου ροής. Αποτελεί θεμελιώδες πρόβλημα στη θεωρία δικτύων ροής και έχει ποικίλες εφαρμογές σε δίκτυα ροών που αντιμετωπίζουν περιορισμούς χωρητικότητας και ταυτόχρονα απαιτούν την εύρεση ελάχιστου κόστους διαδρομών διαμέσου των οποίων θα γίνει η μεταφορά της ροής. Για το λόγο αυτό επιλέχτηκε για την επίλυση του προβλήματος της ροής των αγωγών φυσικού αερίου που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική.

Ο ορισμός προβλήματος ροής ελάχιστου κόστους είναι ο ακόλουθος:

Δίνεται ένα δίκτυο ροής G που είναι ένα κατευθυνόμενο γράφημα $G = (V, E)$. Σε κάθε ακμή $(u, v) \in E$ αντιστοιχεί μεγίστη χωρητικότητα ροής $c(u, v) > 0$, ποσότητα ροής $f(u, v) > 0$ και κόστος ανά μονάδα ροής $w(u, v) > 0$. Σε κάθε κόμβο (κορυφή) $v \in V$ αντιστοιχεί τιμή b_v που είναι η καθαρή ροή που δημιουργείται στη κορυφή v και προσδιορίζει αν ο κόμβος είναι κόμβος προσφοράς (supply node) ή κόμβος ζήτησης (demand node) ή ενδιάμεσος κόμβος (transshipment node) ως εξής:

- Αν $b_u > 0$ ο κόμβος u είναι κόμβος προσφοράς
- Αν $b_u < 0$ ο κόμβος u είναι κόμβος ζήτησης
- Αν $b_u = 0$ ο κόμβος u είναι ενδιάμεσος

Το κόστος αποστολής ροής είναι το γινόμενο του πολλαπλασιασμού $f(u, v)$ επί $w(u, v)$.

Ζητείται το ελάχιστο συνολικό κόστος ροής με το οποίο μπορούμε να στείλουμε ροή ποσότητας b από την πηγή s στον προορισμό t :

$$\text{Min } \sum_{(u,v) \in E} f(u, v) * w(u, v)$$

$$\text{όπου } \sum_{v \in V} f(u, v) - \sum_{v \in V} f(v, u) = b_u \quad \text{για κάθε } v \in E$$

$$\text{και } 0 \leq f(u, v) \leq c(u, v) \quad \text{για κάθε } (u, v) \in E$$

Το πρόβλημα ροής ελάχιστου κόστους προκύπτει και για δίκτυα ροής πολλαπλών πηγών και πολλαπλών προορισμών.

Στο αρχείο Όνομα.dat εισάγονται τα μητρώα που έχουν αναφερθεί. Η επεξεργασία τους γίνεται στο Excel που μας δίνει τη δυνατότητα να έχουμε καλύτερη εποπτεία των δεδομένων μας. Στο παράρτημα παρουσιάζονται οι πίνακες που δημιουργήθηκαν και επεξεργάστηκαν στο Excel για την εισαγωγή των δεδομένων μας στο αρχείο Όνομα.dat.

Στο αρχείο Όνομα.run γίνεται εκτέλεση του προγράμματος με τον solver Cplex. Όπως φαίνεται στο σχήμα φορτώνονται τα αρχεία Όνομα.dat και Όνομα.mod και επιλέγεται ο solver Cplex για να μας λύσει το πρόβλημά μας.

4.5 Ανάπτυξη Σεναρίων Ενεργειακής Ασφάλειας Φυσικού Αερίου

Προκειμένου να ελεγχθεί το ζήτημα της ενεργειακής ασφάλειας του φυσικού αερίου στην Ευρώπη και να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με το μέλλον του φυσικού αερίου και την εξάρτηση που έχει η Ευρώπη από χώρες παραγωγούς που βρίσκονται εκτός της ευρωπαϊκής περιοχής, εξετάστηκαν και αναλύθηκαν η υφιστάμενη κατάσταση και τρία σενάρια με βάση τα παρακάτω στοιχεία:

- Καθαρή Ζήτηση Φυσικού Αερίου κάθε Χώρας: Συνολική Κατανάλωση Χωρών - Τοπική Παραγωγή Φυσικού Αερίου.
- Παροχή Φυσικού Αερίου από τις Χώρες Παραγωγής μέσω των αγωγών
- Παροχή Φυσικού Αερίου μέσω των εγκαταστάσεων LNG

Όλες οι παραπάνω ποσότητες είναι σε bcm και έχουν συγκεντρωθεί σε φύλλα Excel για το έτος 2015. Στη συνέχεια θα αναλυθούν τα σενάρια από την σκοπιά και των δύο πόλων του συστήματός μας, της παραγωγής και της ζήτησης. Από την πλευρά της ζήτησης θα αναλυθούν οι παράγοντες που λάβαμε υπόψιν για την εκτίμηση των νέων της τιμών και από την πλευρά της παραγωγής θα αναφέρουμε τα έργα υποδομής που τροφοδοτούν το σύστημα μας στο εκάστοτε σενάριο.

Στα σενάρια πρόβλεψης της ζήτησης φυσικού αερίου θεωρήθηκε σταθερή η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται καθώς έχει παρατηρηθεί η σταθερά καθοδική πορεία της, σύμφωνα με το EU Reference Scenario 2016⁸² της ευρωπαϊκής επιτροπής. Όπως αναφέρθηκε και στα παραπάνω κεφάλαια η συνολική κατανάλωση ενέργειας για την Ευρώπη το 2015 είναι 1627,4 Mtoe και μέχρι το 2050 αναμένεται ότι θα φτάσει τα 1600 Mtoe. Για αυτό το λόγο στα σενάρια που θα ακολουθήσουν η συνολική κατανάλωση ενέργειας θα παραμείνει σταθερή και θα αλλάζει μόνο το μερίδιο του φυσικού αερίου στο ενεργειακό μείγμα.

4.5.1 Σενάριο 0: Υφιστάμενη Κατάσταση

Στο σενάριο 0 αποτυπώνεται η υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου και εισαγωγών φυσικού αερίου στις χώρες της Ευρώπης που εξετάστηκαν. Η ανάλυση του συγκεκριμένου σεναρίου είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι σύμφωνα με αυτό θα αξιολογήσουμε την αξιοπιστία του μοντέλου μας. Επίσης θα χρησιμοποιηθεί για σύγκριση με τα επόμενα σενάρια.

Ζήτηση

Στο σενάριο αυτό αποτυπώθηκε η παρούσα κατάσταση ζήτησης Φυσικού Αερίου για τις χώρες της Ευρώπης-28 συν την Τουρκία, την Ουκρανία, τη Νορβηγία και τη Λευκορωσία. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6 παρατηρείται ότι η συνολική κατανάλωση φυσικού αερίου είναι στα 525 bcm για το έτος 2015 σύμφωνα με τα

στοιχεία της Eurostat. Σημαντικός δείκτης είναι το μερίδιο που καταλαμβάνει το φυσικό αέριο στο ενεργειακό μείγμα της συνολικής κατανάλωσης. Το μεγαλύτερο ποσοστό το κατέχει η Ολλανδία από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης με 38% επί της συνολικής κατανάλωσής της, ποσοστό που ερμηνεύεται σε 34 bcm φυσικού αερίου για το έτος 2015. Ακολουθούν χώρες, όπως η Γερμανία που είναι η πρώτη σε κατανάλωση Φυσικού Αερίου με 77 bcm και ποσοστό στη συνολική κατανάλωση 21%, η Γαλλία με κατανάλωση φυσικού αερίου 41 bcm, το Ηνωμένο Βασίλειο με 72 bcm και ποσοστό 32%, η Ιταλία με 65 bcm και ένα ποσοστό της τάξης του 35%. Η Ελλάδα έχει μια κατανάλωση φυσικού αερίου 3 bcm και ποσοστό μόλις 11% επί της συνολικής της κατανάλωσης και ανήκει στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που το ποσοστό της κατανάλωσης του φυσικού αερίου είναι χαμηλό και έχει περιθώρια να αυξηθεί στο μέλλον. Παρόμοιες χώρες είναι η Πορτογαλία, η Τσεχία, η Εσθονία, η Δανία και η Κροατία. Αξιοσημείωτο είναι το ποσοστό της Λευκορωσίας που έχει κατανάλωση φυσικού αερίου 18 bcm το οποίο κατέχει το 69% της συνολικής της κατανάλωσης. Αυτό δικαιολογείται ως ένα βαθμό στην πλεονεκτική γεωγραφική θέση της Λευκορωσίας, καθώς μεγάλο μέρος των αγωγών φυσικού αερίου από τον μεγαλύτερο παραγωγό-προμηθευτή της Ευρώπης την Ρωσία, διέρχεται από τα εδάφη της.

Πίνακας 6: Κατανάλωση Φυσικού Αερίου για τις Χώρες της Ευρώπης και την Τουρκία το 2015 (bcm).⁸³

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
ΧΩΡΕΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΕ BCM(2015)	ΜΕΡΙΔΙΟ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
	bcm	%
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	77	21
ΓΑΛΛΙΑ	41	14
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	72	32
ΙΤΑΛΙΑ	65	35
ΙΣΠΑΝΙΑ	29	20
ΠΟΛΩΝΙΑ	16	14
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	34	38
ΒΕΛΓΙΟ	16	26
ΣΟΥΗΔΙΑ	1	2
ΤΣΕΧΙΑ	8	15
ΡΟΥΜΑΝΙΑ	10	28
ΑΥΣΤΡΙΑ	8	21
ΕΛΛΑΔΑ	3	11
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	3	14
ΔΑΝΙΑ	3	17
ΣΛΟΒΑΚΙΑ	5	24
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	5	18
ΟΥΓΓΑΡΙΑ	9	30
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	2	30
ΕΣΘΟΝΙΑ	0	6
ΙΡΛΑΝΔΙΑ	4	26
ΚΡΟΑΤΙΑ	2	24
ΚΥΠΡΟΣ	0	0
ΛΕΤΟΝΙΑ	1	25
ΣΛΟΒΕΝΙΑ	1	10
ΦΙΛΑΝΔΙΑ	3	7
ΛΟΥΞΕΜΒΟΥΡΓΟ	1	19
ΜΑΛΤΑ	0	0
ΤΟΥΡΚΙΑ	46	30
ΟΥΚΡΑΝΙΑ	30	31
ΝΟΡΒΗΓΙΑ	6	18
ΕΛΒΕΤΙΑ	3	9
ΛΕΥΚΟΡΩΣΙΑ	18	69
Σύνολο		525

Εισαγωγές LNG

Το σύνολο των εισαγωγών LNG της Ευρώπης φτάνει τα 45 bcm⁸⁴. Η ποσότητα αυτή καλύπτει το 11,7% της συνολικής ζήτησης των ευρωπαϊκών χωρών σε φυσικό αέριο. Η συνολική χωρητικότητα των τερματικών σταθμών LNG στην Ευρώπη φτάνει τα 208 bcm⁸⁵ το έτος 2016. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι χρησιμοποιείται μόνο το 21,5% της συνολικής δυναμικότητας των τερματικών σταθμών LNG. Για παράδειγμα οι εισαγωγές της Ισπανίας το 2016 ήταν μόλις 13 bcm, ενώ η συνολική χωρητικότητα των τερματικών της σταθμών, πλησιάζει τα 70 bcm. Οι χώρες με τις μεγαλύτερες εισαγωγές LNG στην Ευρώπη κατά σειρά είναι η Ισπανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία και η Ιταλία όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7: Εισαγωγές LNG ανά ευρωπαϊκή χώρα (bcm) και χωρητικότητες σταθμών LNG.⁸⁶

Χώρες	Παρούσα Ζήτηση LNG (Σενάριο 0)	Capacity LNG terminals (Σενάριο 0)	Εισαγωγές LNG(IGU), 2016
	bcm	bcm	bcm
ΓΑΛΛΙΑ	7.7142	34	7.7142
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	10.1706	48	10.1706
ΙΤΑΛΙΑ	6.2652	14.71	6.2652
ΙΣΠΑΝΙΑ	13.6344	68.9	13.6344
ΠΟΛΩΝΙΑ	1.0902	5	1.0902
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	0.4968	12	0.4968
ΒΕΛΓΙΟ	1.6698	9	1.6698
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	1.4076	4	1.4076
ΕΛΛΑΔΑ	0.7728	5	0.7728
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	1.7664	7.9	1.7664
ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΧΩΡΕΣ	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ:	45.0	208.5	45.0

Δίκτυο Αγωγών

Στο σενάριο αυτό αποτυπώνεται η **υφιστάμενη** κατάσταση του δικτύου αγωγών φυσικού αερίου. Το δίκτυο τροφοδοτείται από κεντρικούς αγωγούς, οι οποίοι ξεκινούν από τη Ρωσία, τη Βόρεια Θάλασσα, την Αφρική αλλά και τη Μέση Ανατολή. Συγκεκριμένα, οι αγωγοί που τροφοδοτούν το υφιστάμενο δίκτυο βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8: Κύριοι αγωγοί φυσικού αερίου που τροφοδοτούν την Ευρώπη.

	ΡΩΣΙΑ	ΒΟΡΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΑ	ΑΦΡΙΚΗ	ΜΕΣΗ ΑΝΑΤΟΛΗ
ΣΕΝΑΡΙΟ 0	Brotherhood Bluestream Northern Lights Yamal Nordstream I	Cats Franpipe Zeepipe Norpipe Europipe I Europipe II Vesterled	Maghreb Europe Medgaz Transmed Greenstream	South Caucasus Tabriz-Ankara

Τα ευρωπαϊκά κράτη τροφοδοτούνται από τέσσερις βασικούς πόλους παραγωγής.

- Ρωσία
- Βόρεια Θάλασσα
- Αφρική
- Μέση Ανατολή

Ο κυριότερος παραγωγός – πάροχος φυσικού αερίου της Ευρώπης είναι η Ρωσία, η οποία την τροφοδοτεί με 160 bcm⁸⁷ μέσω των τριών βασικών της αγωγών (Brotherhood, Yamal και Northern Lights). Πρόκειται για αγωγούς με χωρητικότητες 100, 33 και 55 bcm αντίστοιχα, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα στη Ρωσία να παίζει τον κυρίαρχο ρόλο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Ευρώπης. Συγκεκριμένα η Ρωσία καλύπτει το 40,5% της συνολικής ευρωπαϊκής ζήτησης.

Τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας τροφοδοτούν με φυσικό αέριο την βόρεια και κεντρική Ευρώπη μέσω επτά αγωγών που φαίνονται στον παραπάνω πίνακα. Οι συγκεκριμένοι αγωγοί τροφοδοτούν την Ευρώπη μέσω της Ολλανδίας, του Ην. Βασιλείου, Γαλλίας και Γερμανίας με 87.8 bcm, αξιοποιώντας έτσι το 85% της συνολικής τους ετήσιας δυναμικότητας. Το υψηλό ποσοστό αξιοποίησης των αγωγών αυτών, δεν μας δίνει τη δυνατότητα να εκμεταλλευτούμε περαιτέρω τη δυναμικότητά τους, δηλαδή να αυξήσουμε την παροχή φυσικού αερίου από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας.

Ένας άλλος πόλος παραγωγής που τροφοδοτεί την Ευρώπη με φυσικό αέριο είναι η Αφρική. Συγκεκριμένα, η αφρικανική ήπειρος τροφοδοτεί την Ευρώπη με φυσικό αέριο μέσω των Transmed, Maghreb Europe, Medgaz και Greenstream. Οι δύο πρώτοι τροφοδοτούν την Ισπανία με 20 bcm, αξιοποιώντας το 100% της ετήσιας δυναμικότητάς τους, ενώ οι Medgaz και Greenstream τροφοδοτούν την Ιταλία με 27 bcm αξιοποιώντας το 61% της ετήσιας δυναμικότητάς τους.

Τα κοιτάσματα του Shah Deniz της Κασπίας Θάλασσας και του Ιράν τροφοδοτούν την Ευρώπη με φυσικό αέριο μέσω των αγωγών South Caucasus και Tabriz-Ankara με 16 bcm. Το ποσοστό αξιοποίησης των δύο αγωγών φτάνει το 40% της συνολικής τους ετήσιας δυναμικότητας, πράγμα που σημαίνει ότι οι αγωγοί αυτοί μπορούν να διαδραματίσουν ακόμα πιο σημαντικό ρόλο στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε φυσικό αέριο της Ευρώπης, μειώνοντας έτσι την εξάρτηση της Ευρώπης από τη Ρωσία.

Πίνακας 9: Συνολική κατανάλωση Φ.Α., τοπική παραγωγή και Καθαρή Ζήτηση για τις ευρωπαϊκές χώρες, την Τουρκία, στοιχεία 2015 (σε bcm)³

Σενάριο 0			
ΧΩΡΕΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ(2015)	ΤΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ(2015)	ΚΑΘΑΡΗ ΖΗΤΗΣΗ(ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ - ΤΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ)
	bcm	bcm	bcm
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	76,6	7,5	69,1
ΓΑΛΛΙΑ	41,2	0,0	41,2
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	72,1	42,0	30,1
ΙΤΑΛΙΑ	65,0	6,5	58,5
ΙΣΠΑΝΙΑ	28,9	0,1	28,8
ΠΟΛΩΝΙΑ	16,2	4,3	11,9
ΒΕΛΓΙΟ	16,4	0,0	16,4
ΣΟΥΗΔΙΑ	0,9	0,0	0,9
ΤΣΕΧΙΑ	7,6	0,2	7,4
ΡΟΥΜΑΝΙΑ	10,5	10,1	0,4
ΑΥΣΤΡΙΑ	8,1	1,2	6,9
ΕΛΛΑΔΑ	3,1	0,0	3,1
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	3,1	0,1	3,0
ΣΛΟΒΑΚΙΑ	4,6	0,1	4,5
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	4,8	0,0	4,8
ΟΥΓΓΑΡΙΑ	8,8	1,6	7,2
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	2,4	0,0	2,4
ΕΣΘΟΝΙΑ	0,5	0,0	0,5
ΙΡΛΑΝΔΙΑ	4,4	0,1	4,3
ΚΡΟΑΤΙΑ	2,4	1,7	0,7
ΛΕΤΟΝΙΑ	1,3	0,0	1,3
ΣΛΟΒΕΝΙΑ	0,8	0,0	0,8
ΦΙΝΛΑΝΔΙΑ	2,6	0,0	2,6
ΤΟΥΡΚΙΑ	46,3	0,4	46,0
ΟΥΚΡΑΝΙΑ	30,5	16,5	14,0
ΕΛΒΕΤΙΑ	3,5	0,0	3,5
ΛΕΥΚΟΡΩΣΙΑ	19,2	0,2	19,0
ΣΕΡΒΙΑ	2,0	0,6	1,7
ΣΚΟΠΙΑ	0,1	0,0	0,1
ΒΟΣΝΙΑ	0,2	0,0	0,2
ΜΟΛΔΑΒΙΑ	2,9	0,0	2,9
ΣΥΝΟΛΑ	487,0	93,2	393,8

Πίνακας 10: Συγκεντρωτικά στοιχεία παροχής φυσικού αερίου από αγωγούς και τερματικούς σταθμούς LNG που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο.^{88 89}

Σενάριο 0			
ΠΑΡΑΓΩΓΗ		LNG	
	bcm		bcm
YAMAL-NOTHERN LIGHTS	60,0	ΓΑΛΛΙΑ	7,7
BROTHERHOOD	100,0	ΗΝ. ΒΑΣΙΛΕΙΟ	10,2
SOUTH CAUSASUS	8,2	ΙΤΑΛΙΑ	6,3
TABRIZ ANKARA	8,1	ΙΣΠΑΝΙΑ	13,6
GREENSTREAM	7,1	ΠΟΛΩΝΙΑ	1,1
ALGERIA	40,0	ΟΛΛΑΝΔΙΑ	0,5
NORTH SEA	87,8	ΒΕΛΓΙΟ	1,7
NORWAY	24,6	ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	1,4
NETHERLAND	11,6	ΕΛΛΑΔΑ	0,8
DENMARK	1,4	ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	1,8
ΣΥΝΟΛΟ	348,8		45,0

4.5.2 Σενάριο 1: Ολοκλήρωση δικτύου αγωγών Καταναλωτών και Βιομηχανιών

Στο σενάριο αυτό αποτυπώνεται η υφιστάμενη και υπό κατασκευή κατάσταση του δικτύου αγωγών φυσικού αερίου και των τερματικών σταθμών LNG. Η ζήτηση εκτιμήθηκε σύμφωνα με την παραδοχή ότι ολοκληρώθηκε το εσωτερικό δίκτυο αγωγών κάθε χώρας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μεριδίου του φυσικού αερίου στην ενεργειακή αγορά.

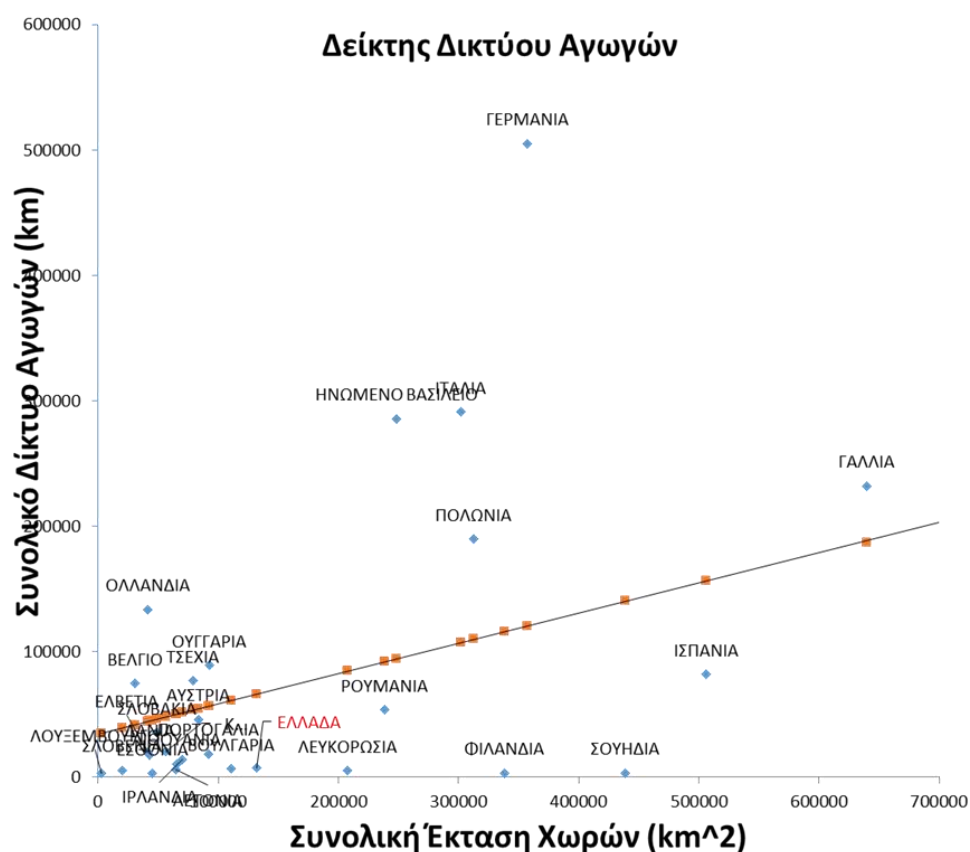
Ζήτηση

Στο σενάριο αυτό για να δικαιολογήσουμε την αύξηση του ποσοστού του Φυσικού Αερίου στο συνολικό ενεργειακό μείγμα επιλέξαμε δύο δείκτες. Ο πρώτος δείκτης είναι ο δείκτης πυκνότητας δικτύου των αγωγών φυσικού αερίου σε κάθε χώρα και ο δεύτερος το ποσοστό διείσδυσης του φυσικού αερίου στην κατανάλωση του οικιακού τομέα κάθε χώρας.

- Δείκτης 1: Δείκτης Πυκνότητας Δικτύου = Συνολικό Δίκτυο Αγωγών Φυσικού Αερίου(km) / Συνολική Έκταση κάθε Χώρας(km²)

Ο παραπάνω δείκτης μας δείχνει μια εικόνα πληρότητας του δικτύου μιας χώρας. Έχει ως αριθμητή το συνολικό δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου σε χιλιόμετρα και παρονομαστή την συνολική έκταση κάθε χώρας σε τετραγωνικά χιλιόμετρα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συγκεκριμένος δείκτης τόσο πιο πλήρες είναι το δίκτυο μιας χώρας. Χώρες όπως η Γερμανία , Ηνωμένο Βασίλειο, Ιταλία, Ολλανδία και Πολωνία έχουν ένα πλήρες δίκτυο φυσικού αερίου σε σχέση με την συνολική έκταση τους ενώ

χώρες όπως η Ελλάδα, η Ισπανία, η Πορτογαλία, η Φινλανδία και η Σουηδία έχουν προοπτική να εξελίξουν το δίκτυο τους έτσι ώστε να αυξηθεί ο αριθμός των καταναλωτών που έχουν πρόσβαση στο φυσικό αέριο. Αυτό θα έχει άμεσο αντίκτυπο στην αύξηση του μεριδίου του φυσικού αερίου στην συνολική κατανάλωση κάθε χώρας άρα και στην συνολική κατανάλωση του φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Κάτι τέτοιο αποτυπώνεται και στην εξέταση των δεδομένων μας με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης. Ως ανεξάρτητη μεταβλητή θεωρήθηκε η συνολική έκταση κάθε χώρας και ως εξαρτημένη μεταβλητή το συνολικό υφιστάμενο δίκτυο κάθε χώρας. Παρατηρείται ότι χώρες όπως η Γερμανία και Ιταλία έχουν ένα πολύ ανεπτυγμένο δίκτυο σε σχέση με την συνολική έκταση τους, ενώ χώρες που είναι “κοντά” στη γραμμή της γραμμικής παλινδρόμησης έχουν μία πιο ιδανική αναλογία που αφορά το δίκτυο των αγωγών και τη συνολική τους έκταση. Οι χώρες που είναι κάτω από τη γραμμή της παλινδρόμησης φαίνεται ότι έχουν περιθώρια αύξησης και των εσωτερικών τους δικτύων αγωγών.



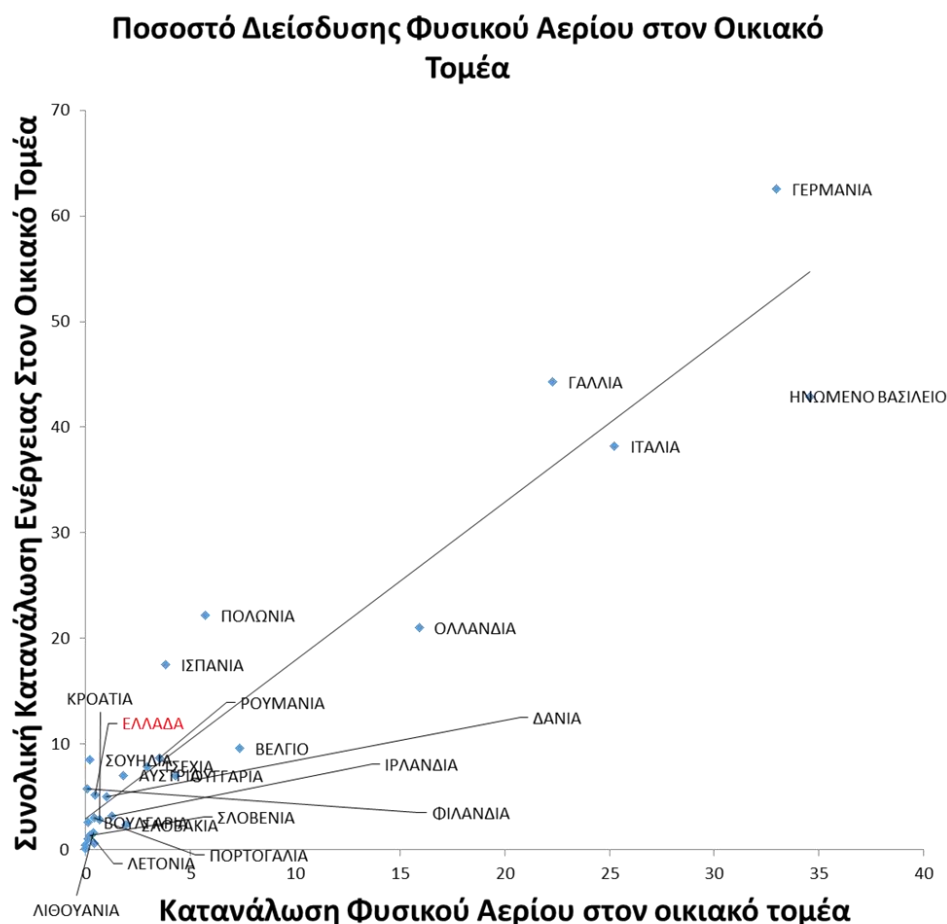
Σχήμα 60: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης.

Πίνακας 11: Δείκτης Πυκνότητας Δικτύου για τις ευρωπαϊκές χώρες συν της Τουρκίας (km / km²)⁹⁰

ΧΩΡΕΣ	Συνολικό δίκυο αγωγών	Συνολική Έκταση Χωρών	Δείκτης Πυκνότητας Δικτύου
	km	km ²	
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	505.000	357.300	1,41
ΓΑΛΛΙΑ	232.094	543.940	0,43
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	285.600	248.500	1,15
ΙΤΑΛΙΑ	291.038	302.100	0,96
ΙΣΠΑΝΙΑ	81.807	506.000	0,16
ΠΟΛΩΝΙΑ	189.949	312.700	0,61
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	133.546	41.500	3,22
ΒΕΛΓΙΟ	74.795	30.500	2,45
ΣΟΥΗΔΙΑ	3.449	438.600	0,01
ΤΣΕΧΙΑ	76.910	78.900	0,97
ΡΟΥΜΑΝΙΑ	53.666	238.400	0,23
ΑΥΣΤΡΙΑ	46.000	83.900	0,55
ΕΛΛΑΔΑ	7.392	132.000	0,06
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	6.710	111.000	0,06
ΔΑΝΙΑ	17.924	42.900	0,42
ΣΛΟΒΑΚΙΑ	35.595	49.000	0,73
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	18.505	92.200	0,20
ΟΥΓΓΑΡΙΑ	89.004	93.000	0,96
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	10.507	65.300	0,16
ΕΣΘΟΝΙΑ	2.880	45.200	0,06
ΙΡΛΑΝΔΙΑ	13.685	69.800	0,20
ΚΡΟΑΤΙΑ	20.310	56.500	0,36
ΚΥΠΡΟΣ	-	9.300	-
ΛΕΤΟΝΙΑ	6.206	64.600	0,10
ΣΛΟΒΕΝΙΑ	5.515	20.300	0,27
ΦΙΛΑΝΔΙΑ	3.299	338.400	0,01
ΛΟΥΞΕΜΒΟΥΡΓΟ	3.159	2.600	1,22
ΜΑΛΤΑ	-	300	-
ΤΟΥΡΚΙΑ	85.746	783.400	0,11
ΟΥΚΡΑΝΙΑ	-	603.500	-
ΝΟΡΒΗΓΙΑ	-	-	-
ΕΛΒΕΤΙΑ	19.474	41.300	0,47
ΛΕΥΚΟΡΩΣΙΑ	5.250	207.600	0,03

- Δείκτης 2: Ποσοστό Διείσδυσης Φυσικού Αερίου στον Οικιακό Τομέα = Κατανάλωση Φυσικού Αερίου στον οικιακό τομέα (bcm) / Συνολικές Ενεργειακές Ανάγκες Οικιακού Τομέα (bcm)

Επιλέχθηκε ο παραπάνω δείκτης διότι θέλουμε να έχουμε μια καλύτερη εικόνα αύξησης της κατανάλωσης του φυσικού αερίου κάθε χώρας. Οι δύο δείκτες του συγκεκριμένου σεναρίου συνδέονται μεταξύ τους καθώς αν αυξηθεί το δίκτυο μιας χώρας τότε θα αυξηθούν και οι καταναλωτές οικιακού τομέα συνεπώς θα αυξηθεί και το ποσοστό διείσδυσης του φυσικού αερίου στον συγκεκριμένο τομέα Αυτό επιβεβαιώνεται και στο **Error! Reference source not found.** που εξετάστηκαν οι δύο αυτές μεταβλητές με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης. Συνεπώς λαμβάνοντας υπόψιν τους δύο παραπάνω δείκτες επιλέξαμε να αυξήσουμε το μερίδιο φυσικού αερίου στην συνολική κατανάλωση ενέργειας σε συγκεκριμένες χώρες που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα και υπολογίσαμε τις νέες καταναλώσεις φυσικού αερίου άρα και την νέα συνολική κατανάλωση της Ευρωπαϊκής Ένωσης που είναι 603 bcm. (παρακάτω Πίνακας 12)



Σχήμα 61: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης.

Πίνακας 12: Νέες καταναλώσεις (bcm) για το Σενάριο 1 λαμβάνοντας υπόψιν τους δύο δείκτες.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΣΕΝΑΡΙΟ 1				
ΧΩΡΕΣ	Share of natural gas in TEC	Δείκτης Πυκνότητας Δικτύου	Ποσοστό Διείσδυσης Φυσικού Αερίου στον Οικιακό Τομέα	Νέο μερίδιο ΦΑ στην αγορά ενέργειας (μέσω ισοδυναμίας bcm σε Mtoe)	Νέες Καταναλώσεις
	%	km/km ²	%	%	bcm
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	21	1,41	53	21	77
ΓΑΛΛΙΑ	14	0,43	50	20	59
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛ	32	1,15	81	32	72
ΙΤΑΛΙΑ	35	0,96	66	35	65
ΙΣΠΑΝΙΑ	20	0,16	22	35	50
ΠΟΛΩΝΙΑ	14	0,61	26	14	16
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	38	3,22	76	38	34
ΒΕΛΓΙΟ	26	2,45	77	26	16
ΣΟΥΗΔΙΑ	2	0,01	2	15	8
ΤΣΕΧΙΑ	15	0,97	37	15	8
ΡΟΥΜΑΝΙΑ	28	0,23	41	35	13
ΑΥΣΤΡΙΑ	21	0,55	26	25	10
ΕΛΛΑΔΑ	11	0,06	8	30	9
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	14	0,06	4	30	7
ΔΑΝΙΑ	17	0,42	20	20	4
ΣΛΟΒΑΚΙΑ	24	0,73	82	24	5
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	18	0,20	13	25	7
ΟΥΓΓΑΡΙΑ	30	0,96	61	30	9
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	30	0,16	22	30	2
ΕΣΘΟΝΙΑ	6	0,06	9	25	2
ΙΡΛΑΝΔΙΑ	26	0,20	39	25	4
ΚΡΟΑΤΙΑ	24	0,36	24	30	3
ΚΥΠΡΟΣ	0	0,00	0		0
ΛΕΤΟΝΙΑ	25	0,10	18	25	1
ΣΛΟΒΕΝΙΑ	10	0,27	16	25	2
ΦΙΛΑΝΔΙΑ	7	0,01	1	15	6
ΛΟΥΞΕΜΒΟΥΡΓΟ	19	1,22	67	25	1
ΜΑΛΤΑ	0	0,00	0	0	0
ΤΟΥΡΚΙΑ	30	0,11	6,93	35	54
ΟΥΚΡΑΝΙΑ	31	0,00	missing	31	30
ΝΟΡΒΗΓΙΑ	18	0,00	missing	18	6
ΕΛΒΕΤΙΑ	9	0,47	missing	15	5
ΛΕΥΚΟΡΩΣΙΑ	69	0,03	missing	69	18
Σύνολο					603

Εισαγωγές LNG

Στο σενάριο 1 εκτός από τους ήδη υπάρχοντες τερματικούς σταθμούς LNG, έχουν προστεθεί στο δίκτυο μας και οι υπό κατασκευή. Το σύνολο της ετήσιας δυναμικότητας των τερματικών σταθμών αυξήθηκε κατά 5 bcm σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην αναβάθμιση των ήδη κατασκευασμένων σταθμών της Ρεβυθούσας(Ελλάδα) και της Τενερίφης(Ισπανία) κατά 2 bcm και 3 bcm αντίστοιχα. Στο μοντέλο που κατασκευάσαμε, θεωρήθηκε ότι η αξιοποίηση της συνολικής χωρητικότητας των τερματικών σταθμών LNG της Ευρώπης έφτασε το 40%, τροφοδοτώντας έτσι την Ευρώπη με 85,4 bcm. Η αύξηση αυτή μας έδωσε τη δυνατότητα να μειώσουμε την τροφοδοσία από τη Ρωσία.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται αναλυτικά η ποσότητα που εισάγει κάθε χώρα σύμφωνα με το ποσοστό αξιοποίησης του 40%.

Πίνακας 13: Εισαγωγές LNG ανά ευρωπαϊκή χώρα (bcm) και χωρητικότητες σταθμών LNG.

Χώρες	Εκτιμώμενη Ζήτηση LNG (Σενάριο 1)	Capacity LNG terminals (Σενάριο 1)
	40% του συνολικού capacity των LNG terminals	
	bcm	bcm
ΓΑΛΛΙΑ	13.6	34
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	19.2	48
ΙΤΑΛΙΑ	6.2652	14.71
ΙΣΠΑΝΙΑ	28.4	71.9
ΠΟΛΩΝΙΑ	2.0	5
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	4.8	12
ΒΕΛΓΙΟ	3.6	9
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	1.6	4
ΕΛΛΑΔΑ	2.8	7
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	3.2	7.9
ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΧΩΡΕΣ	-	-
ΣΥΝΟΛΟ:	85.4	213.5

Δίκτυο Αγωγών

Στο σενάριο 1 αποτυπώνονται οι **υφιστάμενοι** βασικοί αγωγοί φυσικού αερίου όπως στο προηγούμενο σενάριο και έχουν προστεθεί οι αγωγοί οι οποίοι είναι **υπό κατασκευή**. Συγκεκριμένα, έχουν προστεθεί στο δίκτυο οι αγωγοί Turkstream, Tanap, Tap και Galsi με ετήσιες χωρητικότητες 15, 31, 10 και 8 αντίστοιχα. Επομένως οι αγωγοί που προστέθηκαν στο δίκτυο, μπορούν να προσφέρουν 64 bcm στις χώρες της Ευρώπης, εάν αξιοποιηθούν στο 100% της ετήσιας δυναμικότητάς τους.

Πίνακας 14: Κύριοι αγωγοί που τροφοδοτούν την Ευρώπη.

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	ΡΩΣΙΑ	ΒΟΡΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΑ	ΑΦΡΙΚΗ	ΜΕΣΗ ΑΝΑΤΟΛΗ
	Brotherhood	Cats	Maghreb Europe	South Caucasus
	Bluestream	Franpipe	Medgaz	Tabriz-Ankara
	Northern Lights	Zeepipe	Transmed	Tanap
	Yamal	Norpipe	Greenstream	Tap
	Nordstream I	Europipe I	Galsi	
	Turkstream	Europipe II Vesterled		

Πίνακας 15: Συγκεντρωτικά Στοιχεία Ζήτησης για Εφαρμογή στο AMPL.

Σενάριο 1			
ΧΩΡΕΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ(2015)	ΤΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ(2015)	ΚΑΘΑΡΗ ΖΗΤΗΣΗ(ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ - ΤΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ)
	bcm	bcm	bcm
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	76,6	7,5	69,2
ΓΑΛΛΙΑ	59,4	0,0	59,4
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	72,1	42,0	30,1
ΙΤΑΛΙΑ	65,0	6,5	58,5
ΙΣΠΑΝΙΑ	50,0	0,1	49,9
ΠΟΛΩΝΙΑ	16,2	4,3	11,9
ΒΕΛΓΙΟ	16,4	0,0	16,4
ΣΟΥΗΔΙΑ	8,0	0,0	8,0
ΤΣΕΧΙΑ	7,6	0,2	7,4
ΡΟΥΜΑΝΙΑ	13,3	10,1	3,2
ΑΥΣΤΡΙΑ	9,8	1,2	8,6
ΕΛΛΑΔΑ	8,6	0,0	8,6
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	6,5	0,1	6,4
ΣΛΟΒΑΚΙΑ	4,6	0,1	4,5
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	6,8	0,0	6,8
ΟΥΓΓΑΡΙΑ	8,8	1,6	7,2
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	2,4	0,0	2,4
ΕΣΘΟΝΙΑ	1,8	0,0	1,8
ΙΡΛΑΝΔΙΑ	4,2	0,1	4,0
ΚΡΟΑΤΙΑ	3,0	1,7	1,3
ΛΕΤΟΝΙΑ	1,3	0,0	1,3
ΣΛΟΒΕΝΙΑ	1,9	0,0	1,9
ΦΙΝΛΑΝΔΙΑ	5,8	0,0	5,8
ΤΟΥΡΚΙΑ	54,2	0,4	53,9
ΟΥΚΡΑΝΙΑ	30,5	16,5	14,0
ΕΛΒΕΤΙΑ	4,9	0,0	4,9
ΛΕΥΚΟΡΩΣΙΑ	20,2	0,2	20,0
ΣΕΡΒΙΑ	3,5	0,6	2,9
ΣΚΟΠΙΑ	1,0	0,0	1
ΒΟΣΝΙΑ	1,0	0,0	1
ΜΟΛΔΑΒΙΑ	3,5	0,0	3,5
ΣΥΝΟΛΑ	569,1	93,2	475,9

Πίνακας 16: Συγκεντρωτικά Στοιχεία Παραγωγής για Εφαρμογή στο AMPL.

Σενάριο 1			
ΠΑΡΑΓΩΓΗ		LNG	
	bcm		bcm
YAMAL-NOTHERN LIGHTS	70,1	ΓΑΛΛΙΑ	13,6
BROTHERHOOD	100,0	ΗΝ. ΒΑΣΙΛΕΙΟ	19,2
SOUTH CAUSASUS	16,0	ΙΤΑΛΙΑ	6,3
TABRIZ ANKARA	14,0	ΙΣΠΑΝΙΑ	28,4
GREENSTREAM	10,0	ΠΟΛΩΝΙΑ	2,0
ALGERIA	55,0	ΟΛΛΑΝΔΙΑ	4,8
NORTH SEA	87,8	ΒΕΛΓΙΟ	3,6
NORWAY	24,6	ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	1,6
NETHERLAND	11,6	ΕΛΛΑΔΑ	2,8
DENMARK	1,4	ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	3,2
ΣΥΝΟΛΟ	390,5		85,4

4.5.3 Σενάριο 2: Αύξηση της ζήτησης λόγω CNG επιβατικών οχημάτων

Στο σενάριο 2 αναλύσαμε εάν το υφιστάμενο και υπό κατασκευή δίκτυο αγωγών και τερματικών σταθμών LNG, ικανοποιεί μία νέα αύξηση της ζήτησης του φυσικού αερίου, η οποία οφείλεται στη διείσδυση του φυσικού αερίου στον τομέα των μεταφορών.

Ζήτηση

Στο σενάριο αυτό έγινε μια νέα πρόβλεψη της ζήτησης ανεβάζοντας εκ νέου το μερίδιο του Φυσικού Αερίου σε κάθε χώρα. Για αυτή την νέα εκτίμηση λάβαμε υπόψιν το ποσοστό των επιβατικών οχημάτων στον συνολικό στόλο επιβατικών οχημάτων κάθε χώρας. Στόχος μας είναι να αιτιολογήσουμε την περαιτέρω αύξηση της ζήτησης του φυσικού αερίου. Στον παρακάτω Πίνακα έχουμε συγκεντρώσει το συνολικό στόλο επιβατικών οχημάτων κάθε χώρας και τον αριθμό των επιβατικών οχημάτων που κινούνται με CNG. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4 τα οχήματα που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο καταλαμβάνουν ένα πολύ μικρό ποσοστό στο συνολικό στόλο επιβατικών οχημάτων. Για παράδειγμα, το ψηλότερο ποσοστό το κατέχει η Ιταλία, 2,68% επί του συνολικού στόλου, ακολουθεί η Βουλγαρία με 2,38%, η Σουηδία με 1,16% και οι υπόλοιπες χώρες κατέχουν ποσοστά κάτω του 1%.

Από τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν, διαπιστώθηκε ότι η κατανάλωση φυσικού αερίου στον τομέα των μεταφορών προέρχεται κυρίως από τα επιβατικά οχήματα. Συγκεκριμένα υπολογίστηκε η κατανάλωση που προέρχεται από το σύνολο των επιβατικών οχημάτων που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο και την συγκρίναμε με την συνολική κατανάλωση φυσικού αερίου στον τομέα των μεταφορών.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ CNG ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ = ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ CNG ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ Χ ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΟΣ CNG ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΣΕ ΕΝΑ ΧΡΟΝΟ

Πίνακας 17: Σύγκριση Κατανάλωσης CNG αυτοκινήτων με τη Συνολική Κατανάλωση Φυσικού Αερίου στον Τομέα των Μεταφορών.⁹⁰

Συνολική Κατανάλωση Φυσικού Αερίου στον Τομέα των Μεταφορών (EUROGAS 2015)	Συνολική κατανάλωση CNG αυτοκινήτων 2015
bcm	bcm
1,38	1,12

Για να υπολογίσουμε την κατανάλωση φυσικού αερίου ενός αυτοκινήτου για ένα χρόνο χρησιμοποιήσαμε την μέση κατανάλωση $5 \text{ kg} / 100\text{km}$ και μια μέση απόσταση που διανύει σε ένα χρόνο που είναι 13.671 χιλιόμετρα. Άρα ένα αυτοκίνητο CNG καταναλώνει 683 kg φυσικού αερίου σε ένα χρόνο. Αν πολλαπλασιάσουμε με τον συνολικό στόλο των αυτοκινήτων CNG τότε παρατηρούμε ότι η συνολική κατανάλωση των χωρών λόγω των επιβατικών οχημάτων CNG είναι 46 δισεκατομμύρια kg CNG. Συνεπώς τα μετατρέπουμε σε bcm μέσω της ισοδυναμίας 1 kg CNG ισούται με 0,8 κυβικά μέτρα και συμπεραίνουμε ότι η συνολική κατανάλωση CNG αυτοκινήτων είναι 1,12 bcm.

Πίνακας 18: Στοιχεία επιβατικών οχημάτων CNG και συνολικού στόλου το 2015. ^{91 92}

ΧΩΡΕΣ	Συνολικός Αριθμός επιβατικών αυτοκινήτων(EUROSTAT)-ACEA	Αριθμός οχημάτων φυσικού αερίου	Ποσοστό οχημάτων ΦΑ προς συνολικό Στόλο Επιβατικών Οχημάτων
	μονάδες	μονάδες	%
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	45.071.209	93.964	0,21
ΓΑΛΛΙΑ	31.915.493	14.548	0,05
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	33.542.448	310	0,00
ΙΤΑΛΙΑ	37.351.233	1.001.614	2,68
ΙΣΠΑΝΙΑ	22.355.549	5.797	0,03
ΠΟΛΩΝΙΑ	20.723.423	3.600	0,02
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	8.336.414	11.020	0,13
ΒΕΛΓΙΟ	5.587.415	5.365	0,10
ΣΟΥΗΔΙΑ	4.699.063	54.379	1,16
ΤΣΕΧΙΑ	5.115.316	15.500	0,30
ΡΟΥΜΑΝΙΑ	5.153.182	1.390	0,03
ΑΥΣΤΡΙΑ	4.748.048	7.084	0,15
ΕΛΛΑΔΑ	5.104.908	2.210	0,04
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	3.013.863	69.820	2,32
ΔΑΝΙΑ	2.404.091	327	0,01
ΣΛΟΒΑΚΙΑ	2.037.806	183	0,01
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	4.538.000	570	0,01
ΟΥΓΓΑΡΙΑ	3.192.132	6.314	0,20
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	1.244.063	343	0,03
ΕΣΘΟΝΙΑ	676.592	104	0,02
ΙΡΛΑΝΔΙΑ	1.985.130	8	0,00
ΚΡΟΑΤΙΑ	1.489.338	318	0,02
ΚΥΠΡΟΣ	missing	missing	missing
ΛΕΤΟΝΙΑ	677.561	350	0,05
ΣΛΟΒΕΝΙΑ	1.130.907	335	0,03
ΦΙΛΑΝΔΙΑ	2.612.922	2.375	0,09
ΛΟΥΞΕΜΒΟΥΡΓΟ	381.105	306	0,08
ΜΑΛΤΑ		missing	missing
ΤΟΥΡΚΙΑ	10.589.337	4.100	0,04
ΟΥΚΡΑΝΙΑ	missing	missing	missing
NORΒΗΓΙΑ	2.592.390	745	0,03
ΕΛΒΕΤΙΑ	4.503.865	12.912	0,29
ΛΕΥΚΟΡΩΣΙΑ		missing	missing
ΣΥΝΟΛΟ	272.772.803	1.315.891	

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε τα ιδιαίτερα χαμηλά ποσοστά που κατέχουν τα επιβατικά οχήματα που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο στο σύνολο των επιβατικών αυτοκινήτων κάθε χώρας. Στη συνέχεια εκτιμούμε ένα ποσοστό του 25% επί του συνολικού στόλου των επιβατικών αυτοκινήτων να καλυφθεί από την αγορά των CNG αυτοκινήτων.

Πίνακας 19: Αύξηση Κατανάλωσης Φυσικού Αερίου λόγω των CNG αυτοκινήτων.

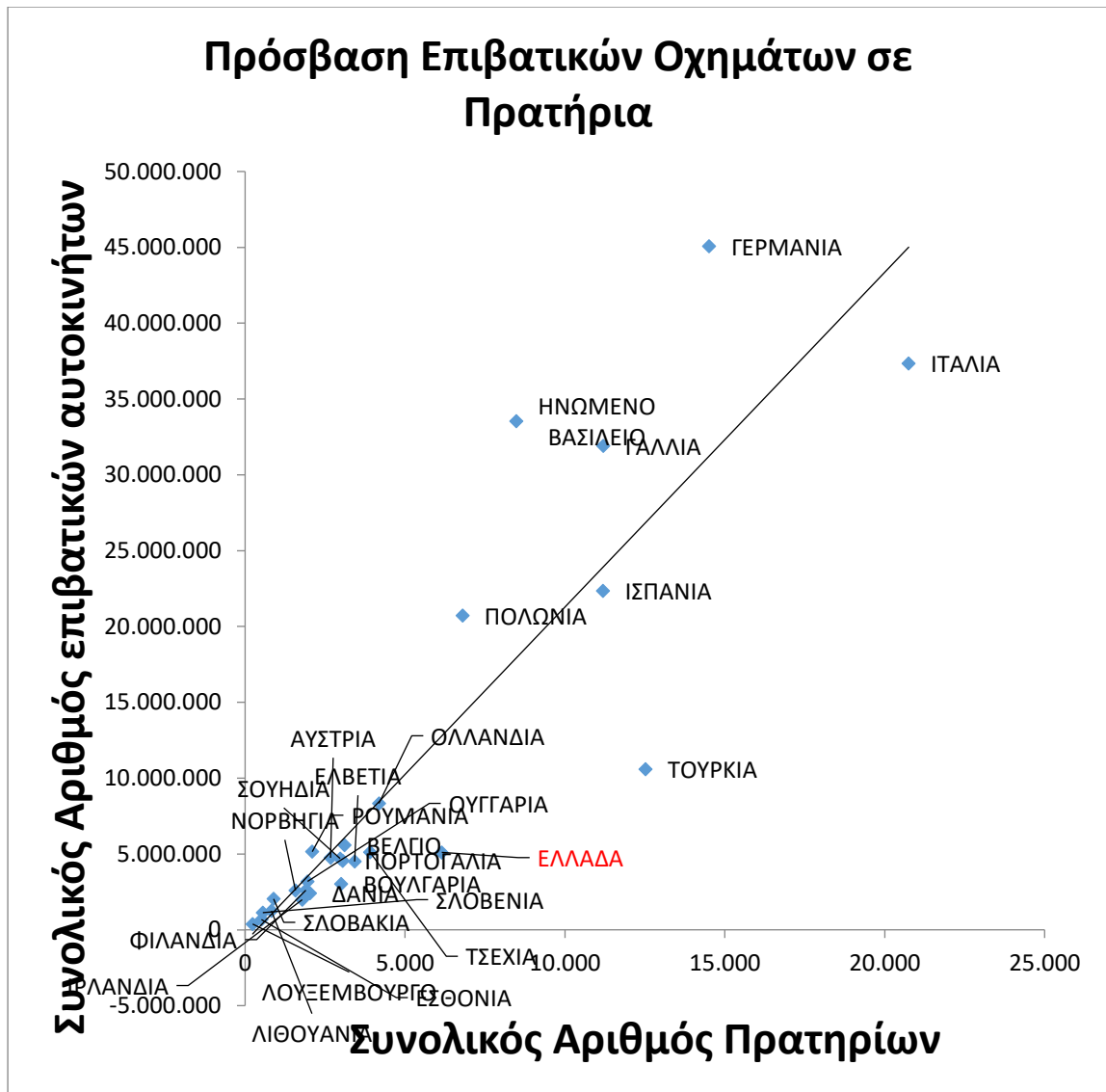
ΧΩΡΕΣ	ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΓΟΡΑ	Αριθμός οχημάτων φυσικού αερίου	ΜΕΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΕΤΑΙ	Μέση Κατανάλω- ση	Κατανάλωση ενός οχήματος CNG το χρόνο	Συνολική κατανάλωση CNG αυτοκινήτων σε kg	Συνολική κατανάλωση CNG αυτοκινήτων σε bcm	Τελική Συνολική Κατανάλω- ση
	%	μονάδες	km	kg/100km		kg	bcm	bcm
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	0,25	11.267.802		5,00		7.701.945.259	9,63	86,2
ΓΑΛΛΙΑ	0,25	7.978.873	11245	5,00		5.453.844.826	6,82	66,2
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	0,25	8.385.612		5,00		5.731.865.288	7,16	79,2
ΙΤΑΛΙΑ	0,25	9.337.808		5,00		6.382.725.432	7,98	73,0
ΙΣΠΑΝΙΑ	0,25	5.588.887		5,00		3.820.204.038	4,78	54,8
ΠΟΛΩΝΙΑ	0,25	5.180.856		5,00		3.541.299.936	4,43	20,6
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	0,25	2.084.104	13011	5,00		1.424.559.175	1,78	36,1
ΒΕΛΓΙΟ	0,25	1.396.854	15096	5,00		954.799.426	1,19	17,6
ΣΟΥΗΔΙΑ	0,25	1.174.766	12220	5,00		802.994.346	1,00	9,0
ΤΣΕΧΙΑ	0,25	1.278.829		5,00		874.125.294	1,09	8,7
ΡΟΥΜΑΝΙΑ	0,25	1.288.296		5,00		880.595.985	1,10	14,4
ΑΥΣΤΡΙΑ	0,25	1.187.012	13093	5,00		811.365.095	1,01	10,8
ΕΛΛΑΔΑ	0,25	1.276.227		5,00		872.346.734	1,09	9,7
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	0,25	753.466		5,00		515.020.750	0,64	7,2
ΔΑΝΙΑ	0,25	601.023		5,00		410.820.515	0,51	4,5
ΣΛΟΒΑΚΙΑ	0,25	509.452		5,00		348.228.295	0,44	5,0
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	0,25	1.134.500		5,00		775.471.268	0,97	7,7
ΟΥΓΓΑΡΙΑ	0,25	798.033	13000	5,00		545.484.057	0,68	9,5
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	0,25	311.016		5,00		212.590.373	0,27	2,7
ΕΣΘΟΝΙΑ	0,25	169.148		5,00		115.618.699	0,14	2,0
ΙΡΛΑΝΔΙΑ	0,25	496.283		5,00		339.226.813	0,42	4,6
ΚΡΟΑΤΙΑ	0,25	372.335		5,00		254.503.928	0,32	3,3
ΚΥΠΡΟΣ	0,25	0		5,00		-	0,00	0,0
ΛΕΤΟΝΙΑ	0,25	169.390		5,00		115.784.286	0,14	1,4
ΣΛΟΒΕΝΙΑ	0,25	282.727		5,00		193.253.831	0,24	2,2
ΦΙΛΑΝΔΙΑ	0,25	653.231	18030	5,00		446.506.376	0,56	6,4
ΛΟΥΞΕΜΒΟΥΡΓΟ	0,25	95.276		5,00		65.124.720	0,08	1,3
ΜΑΛΤΑ	0,25	0		5,00		-	0,00	0,0
ΤΟΥΡΚΙΑ	0,25	2.647.334		5,00		1.809.547.508	2,26	56,5
ΟΥΚΡΑΝΙΑ	0,25	0		5,00		-	0,00	17,7
NORΒΗΓΙΑ	0,25	648.098		5,00		442.997.788	0,55	6,9
ΕΛΒΕΤΙΑ	0,25	1.125.966		5,00		769.638.145	0,96	5,9
ΛΕΥΚΟΡΩΣΙΑ	0,25	0		5,00		-	0,00	18,2
ΣΥΝΟΛΟ		68.193.201	13671	5,00	683,54	46.612.488.184	58,27	649

Επίσης, από τον παρακάτω πίνακα εξάγουμε το συμπέρασμα ότι η αγορά των CNG επιβατικών οχημάτων είναι μικρή και έχει περιθώρια να αυξηθεί το μερίδιο της. Συγκεκριμένα βλέπουμε ότι για κάθε πρατήριο βενζίνης αντιστοιχούν κατά μέσο όρο περίπου 1800 επιβατικά οχήματα που χρησιμοποιούν βενζίνη, ενώ όσο αναφορά τα οχήματα με φυσικό αέριο και τα αντίστοιχα πρατήρια ανεφοδιασμού αντιστοιχούν μόλις 210 CNG επιβατικά οχήματα για κάθε πρατήριο κατά μέσο όρο.

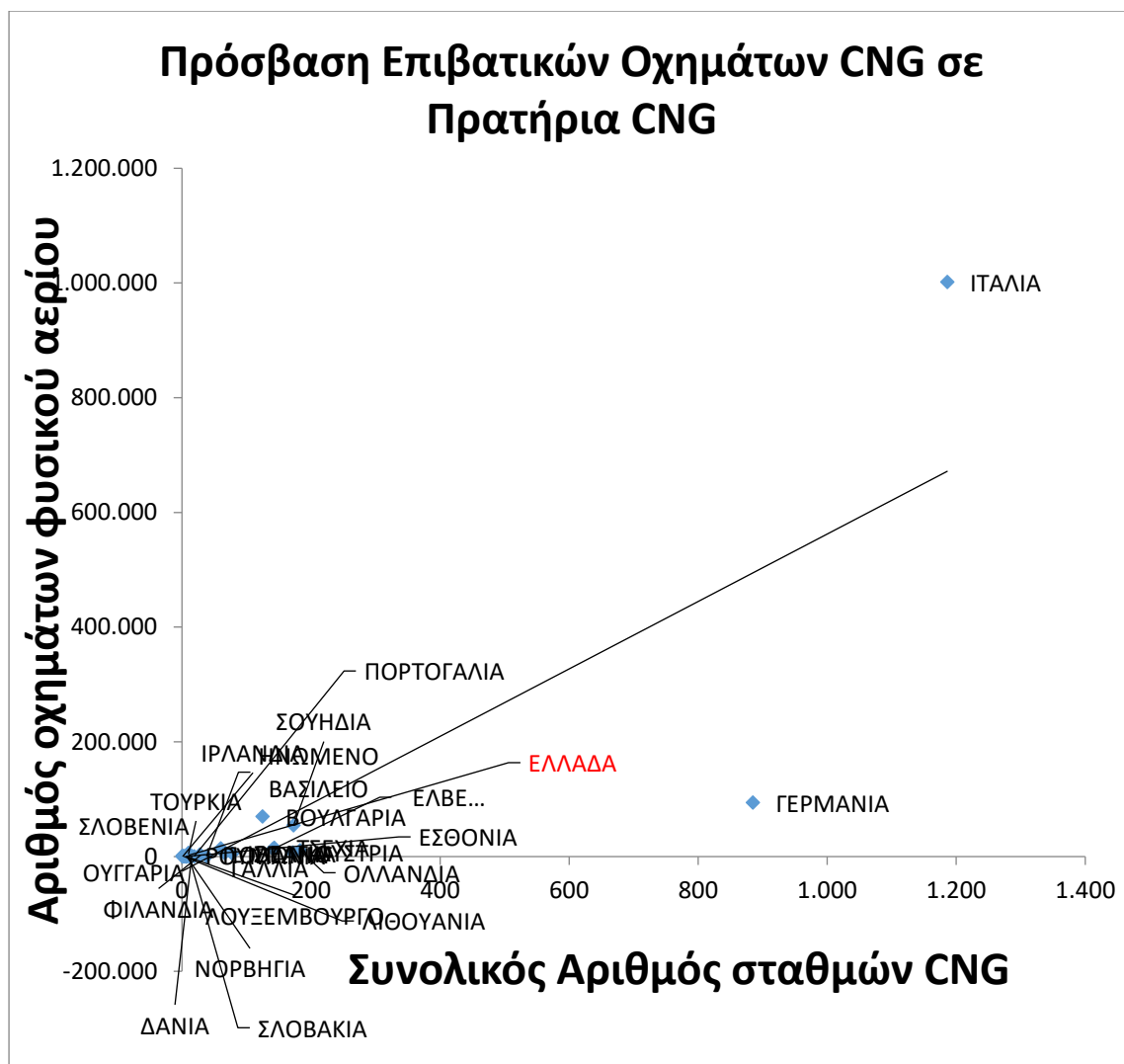
Πίνακας 20: Στοιχεία Επιβατικών Οχημάτων Πρατηρίων Ανεφοδιασμού για το 2015.^{93 94}

ΧΩΡΕΣ	Συνολικός Αριθμός επιβατικών αυτοκινήτων	Αριθμός οχημάτων φυσικού αερίου **	Συνολικός Αριθμός σταθμών CNG	Συνολικός Αριθμός Πρατηρίων	Συνολικά οχήματα προς πρατήρια	Συνολικά οχήματα προς πρατήρια (φυσικό αέριο)
	μονάδες	μονάδες	μονάδες	μονάδες	οχήματα	οχήματα
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	45.071.209	93.964	885	14.510	3106	106
ΓΑΛΛΙΑ	31.915.493	14.548	60	11.200	2850	242
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	33.542.448	310	38	8.476	3957	8
ΙΤΑΛΙΑ	37.351.233	1.001.614	1.186	20.750	1800	845
ΙΣΠΑΝΙΑ	22.355.549	5.797	66	11.188	1998	88
ΠΟΛΩΝΙΑ	20.723.423	3.600	28	6.800	3048	129
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	8.336.414	11.020	183	4.184	1992	60
ΒΕΛΓΙΟ	5.587.415	5.365	78	3.109	1797	69
ΣΟΥΗΔΙΑ	4.699.063	54.379	173	2.970	1582	314
ΤΣΕΧΙΑ	5.115.316	15.500	143	3.906	1310	108
ΡΟΥΜΑΝΙΑ	5.153.182	1.390	1	2.100	2454	1390
ΑΥΣΤΡΙΑ	4.748.048	7.084	172	2.670	1778	41
ΕΛΛΑΔΑ	5.104.908	2.210	10	6.150	830	221
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	3.013.863	69.820	125	3.000	1005	559
ΔΑΝΙΑ	2.404.091	327	15	2.028	1185	22
ΣΛΟΒΑΚΙΑ	2.037.806	183	11	890	2290	17
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	4.538.000	570	19	3.046	1490	30
ΟΥΓΓΑΡΙΑ	3.192.132	6.314	10	1.953	1634	631
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	1.244.063	343	3	822	1513	114
ΕΣΘΟΝΙΑ	676.592	104	6	510	1327	17
ΙΡΛΑΝΔΙΑ	1.985.130	8	1	1.785	1112	8
ΣΛΟΒΕΝΙΑ	1.130.907	335	4	553	2045	84
ΦΙΝΛΑΝΔΙΑ	2.612.922	2.375	29	1.900	1375	82
ΛΟΥΞΕΜΒΟΥΡΓΟ	381.105	306	7	236	1615	44
ΤΟΥΡΚΙΑ	10.589.337	4.100	10	12.521	846	410
ΝΟΡΒΗΓΙΑ	2.592.390	745	7	1.575	1646	106
ΕΛΒΕΤΙΑ	4.503.865	12.912	141	3.424	1315	92

Κάτι που αναφέρθηκε παραπάνω δικαιολογείται και στα παρακάτω διαγράμματα που αποτυπώνουν την σχέση μεταξύ οχημάτων και πρατηρίων. Στο παρακάτω σχήμα εξετάζεται η σχέση του συνολικού αριθμού επιβατικών οχημάτων και του συνολικού αριθμού πρατηρίων σε κάθε χώρα, ενώ στο Σχήμα 63 η σχέση του συνολικού αριθμού CNG επιβατικών οχημάτων και των πρατηρίων CNG σε κάθε χώρα. Όπως φαίνεται ξεκάθαρα με την σύγκριση των δύο σχημάτων η αγορά των CNG οχημάτων είναι πολύ μακριά από την αγορά των βενζινοκίνητων οχημάτων. Στο Σχήμα 62 βλέπουμε σχεδόν όλες τις χώρες να είναι πολύ κοντά στην ευθεία της γραμμικής παλινδρόμησης, κάτι που δεν συμβαίνει στο Σχήμα 63.



Σχήμα 62: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης



Σχήμα 63: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης

Στο συγκεκριμένο σενάριο εκτιμήθηκε μια νέα ζήτηση φυσικού αερίου των 662 bcm. Έχουμε μια αύξηση των 58 bcm που δικαιολογείται στην εξέλιξη της τεχνολογίας του φυσικού αερίου στην αγορά των επιβατικών οχημάτων. Είναι μια αγορά που έχει περιθώρια άνθησης λόγω κυρίως της οικονομικότερης αλλά και πιο φιλικής με το περιβάλλον φύσης του φυσικού αερίου σαν καύσιμο κίνησης. Σε αυτό το σημείο έρχεται το ερώτημα της ενεργειακής ασφάλειας. Μπορούν οι χώρες που τροφοδοτούν την Ευρώπη να ικανοποιήσουν μια αύξηση της κατανάλωσης που εκτιμάται για το μέλλον;

Πίνακας 21: Σύνοψη σεναρίου – Νέες Καταναλώσεις.

	ΣΕΝΑΡΙΟ 2			
	ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΓΟΡΑ	Αριθμός οχημάτων φυσικού αερίου	Συνολική κατανάλωση CNG αυτοκινήτων σε bcm	Τελική Συνολική Κατανάλωση
	%	μονάδες	bcm	bcm
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	0,25	11267802	9,6	86,2
ΓΑΛΛΙΑ	0,25	7978873	6,8	66,2
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	0,25	8385612	7,2	79,2
ΙΤΑΛΙΑ	0,25	9337808	8,0	73,0
ΙΣΠΑΝΙΑ	0,25	5588887	4,8	54,8
ΠΟΛΩΝΙΑ	0,25	5180856	4,4	20,6
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	0,25	2084104	1,8	36,1
ΒΕΛΓΙΟ	0,25	1396854	1,2	17,6
ΣΟΥΗΔΙΑ	0,25	1174766	1,0	9,0
ΤΣΕΧΙΑ	0,25	1278829	1,1	8,7
ΡΟΥΜΑΝΙΑ	0,25	1288296	1,1	14,4
ΑΥΣΤΡΙΑ	0,25	1187012	1,0	10,8
ΕΛΛΑΔΑ	0,25	1276227	1,1	9,7
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	0,25	753466	0,6	7,2
ΔΑΝΙΑ	0,25	601023	0,5	4,5
ΣΛΟΒΑΚΙΑ	0,25	509452	0,4	5,0
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	0,25	1134500	1,0	7,7
ΟΥΓΓΑΡΙΑ	0,25	798033	0,7	9,5
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	0,25	311016	0,3	2,7
ΕΣΘΟΝΙΑ	0,25	169148	0,1	2,0
ΙΡΛΑΝΔΙΑ	0,25	496283	0,4	4,6
ΚΡΟΑΤΙΑ	0,25	372335	0,3	3,3
ΚΥΠΡΟΣ	0,25	0	0,0	0,0
ΛΕΤΟΝΙΑ	0,25	169390	0,1	1,4
ΣΛΟΒΕΝΙΑ	0,25	282727	0,2	2,2
ΦΙΛΑΝΔΙΑ	0,25	653231	0,6	6,4
ΛΟΥΞΕΜΒΟΥΡΓΟ	0,25	95276	0,1	1,3
ΜΑΛΤΑ	0,25	0	0,0	0,0
ΤΟΥΡΚΙΑ	0,25	2647334	2,3	56,5
ΟΥΚΡΑΝΙΑ	0,25	0	0,0	30,0
ΝΟΡΒΗΓΙΑ	0,25	648098	0,6	6,9
ΕΛΒΕΤΙΑ	0,25	1125966	1,0	5,9
ΛΕΥΚΟΡΩΣΙΑ	0,25	0	0,0	18,2
Σύνολο			58	662

Εισαγωγές LNG

Στο σενάριο 2, όπως ακριβώς και στο προηγούμενο σενάριο, έχουν προστεθεί στο δίκτυο μας και οι υπό κατασκευή σταθμοί LNG. Το σύνολο της ετήσιας δυναμικότητας των τερματικών σταθμών LNG και στο σενάριο 2 παραμένει στα 213,5 bcm. Στο συγκεκριμένο σενάριο αυξήθηκε η συνολική καθαρή ζήτηση στα 536,8 bcm επομένως έπρεπε να αυξηθεί και η τροφοδοσία φυσικού αερίου στο δίκτυο. Γι αυτό το λόγο θεωρήσαμε ότι οι τερματικοί σταθμοί LNG θα αξιοποιηθούν στο 65% της ετήσιας τους δυναμικότητας, τροφοδοτώντας έτσι το δίκτυο με 138,8 bcm όπως φαίνεται αναλυτικά και στον παρακάτω πίνακα. Η υψηλή αξιοποίηση δυναμικότητας των τερματικών σταθμών LNG βοήθησε στο να μειωθεί η τροφοδοσία της Ευρώπης από τη Ρωσία.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται αναλυτικά η ποσότητα που εισάγει κάθε χώρα σύμφωνα με το ποσοστό αξιοποίησης δυναμικότητας κατά 65%.

Πίνακας 22: Εισαγωγές LNG ανά ευρωπαϊκή χώρα (bcm) και χωρητικότητες σταθμών LNG.

Χώρες	Εκτιμώμενη Ζήτηση LNG (Σενάριο 2)	Capacity LNG terminals (Σενάριο 2)
	65% του συνολικού capacity των LNG terminals	
	bcm	bcm
ΓΑΛΛΙΑ	22.1	34
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	31.2	48
ΙΤΑΛΙΑ	9.5615	14.71
ΙΣΠΑΝΙΑ	46.735	71.9
ΠΟΛΩΝΙΑ	3.25	5
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	7.8	12
ΒΕΛΓΙΟ	5.85	9
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	2.6	4
ΕΛΛΑΔΑ	4.55	7
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	5.135	7.9
ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΧΩΡΕΣ	-	-
ΣΥΝΟΛΟ:	138.7815	213.5

Δίκτυο Αγωγών

Στο σενάριο 2 αποτυπώνονται οι υφιστάμενοι βασικοί αγωγοί φυσικού αερίου και οι αγωγοί οι οποίοι είναι υπό κατασκευή, όπως ακριβώς και στο σενάριο 1. Συγκεκριμένα, έχουν προστεθεί στο δίκτυο οι αγωγοί Turkstream, Tanap, Tap και Galsi με ετήσιες χωρητικότητες 15, 31, 10 και 8 αντίστοιχα. Επομένως οι αγωγοί που προστέθηκαν στο δίκτυο, μπορούν να προσφέρουν 64 bcm στις χώρες της Ευρώπης, εάν αξιοποιηθούν στο 100% της ετήσιας δυναμικότητάς τους, σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση

Πίνακας 23: Κύριοι αγωγοί που τροφοδοτούν την Ευρώπη

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	ΡΩΣΙΑ	ΒΟΡΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΑ	ΑΦΡΙΚΗ	ΜΕΣΗ ΑΝΑΤΟΛΗ
	Brotherhood	Cats	Maghreb Europe	South Caucasus
	Bluestream	Franpipe	Medgaz	Tabriz-Ankara
	Northern Lights	Zeepipe	Transmed	Tanap
	Yamal	Norpipe	Greenstream	Tap
	Nordstream I	Europipe I	Galsi	
	Turkstream	Europipe II Vesterled		

Πίνακας 24: Συγκεντρωτικά Στοιχεία ζήτησης για Εφαρμογή στο AMPL.

Σενάριο 2			
ΧΩΡΕΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ(2015)	ΤΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ(2015)	ΚΑΘΑΡΗ ΖΗΤΗΣΗ(ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ - ΤΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ)
	bcm	bcm	bcm
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	86,2	7,5	78,8
ΓΑΛΛΙΑ	66,2	0,0	66,2
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	79,2	42,0	37,3
ΙΤΑΛΙΑ	73,0	6,5	66,5
ΙΣΠΑΝΙΑ	54,8	0,1	54,7
ΠΟΛΩΝΙΑ	20,6	4,3	16,3
ΒΕΛΓΙΟ	17,6	0,0	17,6
ΣΟΥΗΔΙΑ	9,0	0,0	9,0
ΤΣΕΧΙΑ	8,7	0,2	8,5
ΡΟΥΜΑΝΙΑ	14,4	10,1	4,3
ΑΥΣΤΡΙΑ	10,8	1,2	9,6
ΕΛΛΑΔΑ	9,7	0,0	9,7
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	7,2	0,1	7,1
ΣΛΟΒΑΚΙΑ	5,0	0,1	4,9
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	7,7	0,0	7,7
ΟΥΓΓΑΡΙΑ	9,5	1,6	7,9
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	2,7	0,0	2,7
ΕΣΘΟΝΙΑ	2,0	0,0	2,0
ΙΡΛΑΝΔΙΑ	4,6	0,1	4,5
ΚΡΟΑΤΙΑ	3,3	1,7	1,6
ΛΕΤΟΝΙΑ	1,4	0,0	1,4
ΣΛΟΒΕΝΙΑ	2,2	0,0	2,2
ΦΙΝΛΑΝΔΙΑ	6,4	0,0	6,4
ΤΟΥΡΚΙΑ	56,5	0,4	56,1
ΟΥΚΡΑΝΙΑ	32,0	16,5	15,5
ΕΛΒΕΤΙΑ	5,9	0,0	5,9
ΛΕΥΚΟΡΩΣΙΑ	20,8	0,2	20,6
ΣΕΡΒΙΑ	4,1	0,6	3,5
ΣΚΟΠΙΑ	2,1	0,0	2,1
ΒΟΣΝΙΑ	1,9	0,0	1,9
ΜΟΛΔΑΒΙΑ	4,3	0,0	4,3
ΣΥΝΟΛΑ	630,0	93,2	536,8

Πίνακας 25: Συγκεντρωτικά Στοιχεία Παραγωγής για Εφαρμογή στο AMPL.

Σενάριο 2			
ΠΑΡΑΓΩΓΗ		LNG	
	bcm		bcm
YAMAL-NOTHERN LIGHTS	90,1	ΓΑΛΛΙΑ	22,1
BROTHERHOOD	100,0	ΗΝ. ΒΑΣΙΛΕΙΟ	31,2
SOUTH CAUSASUS	16,0	ΙΤΑΛΙΑ	9,6
TABRIZ ANKARA	14,0	ΙΣΠΑΝΙΑ	46,7
GREENSTREAM	11,0	ΠΟΛΩΝΙΑ	3,3
ALGERIA	41,5	ΟΛΛΑΝΔΙΑ	7,8
NORTH SEA	87,8	ΒΕΛΓΙΟ	5,9
NORWAY	24,6	ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	2,6
NETHERLAND	11,6	ΕΛΛΑΔΑ	4,6
DENMARK	1,4	ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	5,1
ΣΥΝΟΛΟ	398,0		138,8

4.5.4 Σενάριο 3: Αύξηση της ζήτησης λόγω CNG επιβατικών οχημάτων και ολοκλήρωσης μελλοντικών έργων κατασκευής αγωγών φυσικού αερίου και σταθμών LNG

Ζήτηση

Στο σενάριο αυτό χρησιμοποιήθηκαν ακριβώς τα ίδια δεδομένα με το σενάριο 2. Επομένως, η ζήτηση η οποία χρησιμοποιήθηκε είναι 398 bcm.

Συγκεκριμένα, η συνολική ζήτηση φυσικού αερίου οφείλεται στην ολοκλήρωση του εσωτερικού δικτύου αγωγών και αύξησης του μεριδίου του φυσικού αερίου στην ενεργειακή αγορά αλλά και στην περαιτέρω αύξηση της, λόγω των CNG επιβατικών οχημάτων.

Εισαγωγές LNG

Στο σενάριο 3, στο δίκτυο LNG έχουν προστεθεί και οι μελλοντικοί τερματικοί σταθμοί μαζί με τους υφιστάμενους και υπό κατασκευή σταθμούς. Η συνολική χωρητικότητα του δικτύου LNG στο συγκεκριμένο σενάριο φτάνει τα 339,5 bcm. Θεωρήθηκε, όπως ακριβώς και στο σενάριο 1, ότι η αξιοποίηση του συνολικού δικτύου LNG θα γίνει στο 40% τροφοδοτώντας έτσι το δίκτυο με 135,8 bcm. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι μελλοντικές ζητήσεις των τερματικών σταθμών LNG σε κάθε χώρα.

Πίνακας 26: Εισαγωγές LNG ανά ευρωπαϊκή χώρα (bcm) και χωρητικότητες σταθμών LNG.

Χώρες	Εκτιμώμενη Ζήτηση LNG (Σενάριο 3)	Capacity LNG terminals (Σενάριο 3)
	40% του συνολικού capacity των LNG terminals	
	bcm	bcm
ΓΑΛΛΙΑ	18	45
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	24.4	61
ΙΤΑΛΙΑ	18.684	46.71
ΙΣΠΑΝΙΑ	30.76	76.9
ΠΟΛΩΝΙΑ	7.6	19
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	6.4	16
ΒΕΛΓΙΟ	3.6	9
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	1.6	4
ΕΛΛΑΔΑ	7.2	18
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	3.16	7.9
ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΧΩΡΕΣ	-	36
ΣΥΝΟΛΟ:	135.8	339.5

Δίκτυο Αγωγών

Στο σενάριο 3 προστέθηκαν στο δίκτυο και τα μελλοντικά έργα αγωγών φυσικού αερίου εκτός από τους υφιστάμενους και υπό κατασκευή αγωγούς. Συγκεκριμένα, προστέθηκαν οι αγωγοί Nordstream II από Ρωσία, ITE από Ιράν και Eastmed από Κύπρο. Ο αγωγός Nordstream II έχει ετήσια χωρητικότητα 55 bcm και ακολουθεί την ίδια ακριβώς διαδρομή με τον υφιστάμενο αγωγό Nordstream. Ο αγωγός ITE είναι ο αγωγός που ξεκινάει από το Ιράν και διασχίζει την Τουρκία προτού εισχωρήσει στο ευρωπαϊκό δίκτυο, με ετήσια δυναμικότητα που αγγίζει τα 35 bcm. Ο τελευταίος αγωγός που προστέθηκε στο δίκτυο είναι ο Eastmed, ένας αγωγός που εκμεταλλεύεται τα κοιτάσματα της Κύπρου και τροφοδοτεί την Ευρώπη με φυσικό αέριο ακολουθώντας τη διαδρομή Ελλάδα-Ιταλία τροφοδοτώντας την Ευρώπη με 10 bcm. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται το συνολικό δίκτυο αγωγών του εν λόγω σεναρίου.

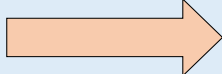
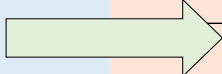
Πίνακας 27: Κύριοι αγωγοί που τροφοδοτούν την Ευρώπη.

ΣΕΝΑΡΙΟ 3	ΡΩΣΙΑ	ΒΟΡΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΑ	ΑΦΡΙΚΗ	ΜΕΣΗ ΑΝΑΤΟΛΗ
	Brotherhood	Cats	Maghreb Europe	South Caucasus
	Bluestream	Franpipe	Medgaz	Tabriz-Ankara
	Northern Lights	Zeepipe	Transmed	Tanap
	Yamal	Norpipe	Greenstream	Tap
	Nordstream I	Europipe I	Galsi	ITE
	Turkstream Nordstream II	Europipe II Vesterled		Eastmed

Σχολιασμός Σεναρίου 3

Η ζήτηση φυσικού αερίου στο συγκεκριμένο σενάριο είναι 398 bcm και καλύπτεται μέσω της προσφοράς LNG, η οποία φτάνει τα 135,8 bcm και της τροφοδότησης μέσω αγωγών. Η βασική υπόθεση στο σενάριο 3 είναι ότι η αξιοποίηση των μελλοντικών, υπό κατασκευή και υφιστάμενων τερματικών σταθμών LNG θα φτάσει το 40%, ποσοστό που μεταφράζεται στα 135,8 bcm εκ των 339 bcm που αντιστοιχούν στις νέες χωρητικότητες. Η ποσότητα αυτή συμπίπτει με την αντίστοιχη στο σενάριο 2. Συνεπώς τα αποτελέσματα του μοντέλου των ποσοτήτων φυσικού αερίου ανά αγωγό είναι σχεδόν πανομοιότυπα με αυτά του σεναρίου 2. Ο σκοπός του σεναρίου αυτού είναι να μελετηθεί η αξιοποίηση των νέων έργων αγωγών. Αυτό όμως δεν κατέστη δυνατό με τις συνθήκες ζήτησης του συγκεκριμένου σεναρίου, καθώς για να αξιοποιηθούν τα μελλοντικά έργα έπρεπε η ζήτηση να είναι κατά πολύ υψηλότερη από την ήδη αυξημένη εκτιμώμενη ζήτηση.

Πίνακας 28: Αναλυτική περιγραφή σεναρίων

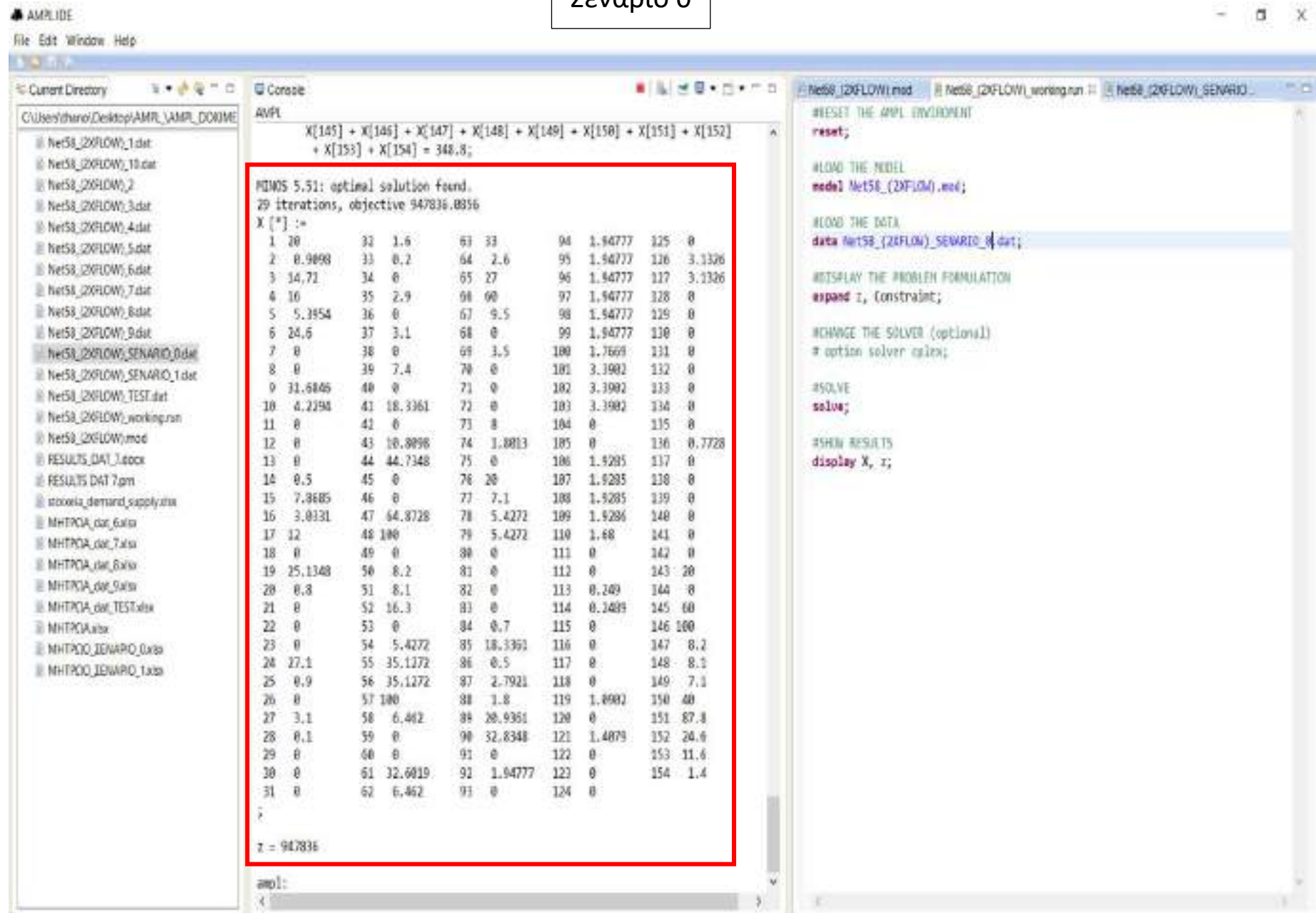
	Καθαρή Ζήτηση Φυσικού Αερίου				
Σενάριο 0: Υφιστάμενο Δίκτυο και εγκαταστάσεις LNG	394 bcm	Δίκτυο Αγωγών (capacity)	Brotherhood, Yamal, Northern Lights (183 bcm), Cats, Franpipe, Zeepipe, Norpipe, Europipe I, Europipe II (104 bcm), Maghreb Europe, Medgaz, Transmed, Greenstream (61 bcm), South Caucasus, Tabriz-Ankara (30 bcm)		
		Σταθμοί LNG ανά Χώρα (capacity)	Belgium (9 bcm) , France (34 bcm), Greece (5 bcm), Italy (14.7 bcm), Lithuania (4 bcm), Poland (5 bcm), Portugal (7.9 bcm), Spain (68.9 bcm), Netherlands (12 bcm)		
Σενάριο 1: Υφιστάμενο, υπό κατασκευή Δίκτυο και εγκαταστάσεις LNG	394 bcm + 61 bcm λόγω ολοκλήρωσης του δικτύου καταναλωτών και βιομηχανιών = 475 bcm			Αγωγοί Tap (10), Tanap (31), Turkstream (15 for Europe), Galsi (8 bcm)	
				LNG Greece (2 bcm), Spain (3 bcm)	
Σενάριο 2 Υφιστάμενο, υπό κατασκευή Δίκτυο και εγκαταστάσεις σταθμών LNG και ποσοστό αυτοκινήτων με Φ.Α.	475 bcm + 59 bcm λόγω αύξησης του μεριδίου των CNG επιβατικών οχημάτων στο ποσοστό του 25% = 536.8 bcm			Αγωγοί Tap (10), Tanap (31), Turkstream (15 for Europe), Galsi (8 bcm)	
				LNG Greece (2 bcm), Spain (3 bcm)	
Σενάριο 3 Υφιστάμενο, υπό κατασκευή και μελλοντικό δίκτυο και εγκαταστάσεις σταθμών LNG και ποσοστό αυτοκινήτων με Φ.Α.	475 bcm + 59 bcm λόγω αύξησης του μεριδίου των CNG επιβατικών οχημάτων στο ποσοστό του 25% = 536.8 bcm		 	Αγωγοί ITE (35 bcm), Nordstream II (55 bcm), Eastmed (10 bcm)	
				LNG Croatia(12 bcm), Estonia(5 bcm) Greece(11 bcm), Italy(32 bcm) UK(13 bcm), Ireland(3 bcm) Spain(5 bcm), France(11 bcm) Latvia(5 bcm), Poland(14 bcm) Netherlands(4 bcm)	

4.6 Παρουσίαση και Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Σεναρίων

4.6.1 Σενάριο 0

- Η Λιθουανία, η Εσθονία και η Λετονία οι οποίες έχουν ζήτηση φυσικού αερίου 2,4 , 0,5 και 1,3 bcm αντίστοιχα, καλύπτονται από τη Ρωσία κατά 60% και η υπόλοιπη ζήτηση τους καλύπτεται από νορβηγικό LNG μέσω Λιθουανίας, σε σύγκριση με παλαιότερα όπου η ζήτηση των παραπάνω χωρών καλυπτόταν πλήρως από ρωσικό αέριο. Αυτό είναι ένα μικρό παράδειγμα απεξάρτησης των χωρών της Ευρώπης από το ρωσικό αέριο μέσω της τροφοδοσίας LNG.
- Η Ελλάδα στο σενάριο που εξετάζουμε καλύπτει τις ανάγκες της σε φυσικό αέριο κατά 25% (0,78 bcm) από LNG της Αλγερίας, το οποίο αεριοποιείται στο σταθμό της Ρεβυθούσας και εισέρχεται στο δίκτυο αγωγών. Η υπόλοιπη ζήτηση της Ελλάδας ικανοποιείται από τη Ρωσία(μέσω Βουλγαρίας).
- Η Αλγερία τροφοδοτεί την Ευρώπη με 40 bcm φυσικό αέριο μέσω των τριών αγωγών Maghreb Europe (1620 km), Medgaz (757 km) και Transmed (2475 km). Ο κόμβος της Αλγερίας επιβεβαιώνει τη ροή του φυσικού αερίου στο δίκτυο μας με τη μέθοδο του minimum cost flow, καθώς το μοντέλο μας «προτιμά» να στείλει το φυσικό αέριο από τη διαδρομή με το μικρότερο κόστος(δηλαδή μήκος). Συγκεκριμένα εξαντλεί πρώτα τη χωρητικότητα του Medgaz (8 bcm), στη συνέχεια τον αγωγό Maghreb-Europe (12 bcm) και μέσω του αγωγού Transmed (33.5 bcm),ο οποίος είναι ο πιο μακρύς αγωγός, τα υπολειπόμενα 20 bcm από τα συνολικά 40 bcm που δίνει η Αλγερία στην Ευρώπη.
- Η Ισπανία είναι ο μεγαλύτερος εισαγωγέας LNG στην Ευρώπη με εισαγωγές που άγγιξαν τα 13,6 bcm το 2016 . Η ζήτηση της Ισπανίας σε φυσικό αέριο κυμαίνεται στα 28,8 bcm η οποία καλύπτεται από δύο αγωγούς μέγιστης συνολικής χωρητικότητας 20 bcm από την Αλγερία και όπως είναι φυσικό την υπόλοιπη ζήτηση την ικανοποιεί με εισαγωγές σε LNG. Επομένως, συμπεραίνουμε το σημαντικό ρόλο που παίζουν στην Ισπανία οι σταθμοί LNG.

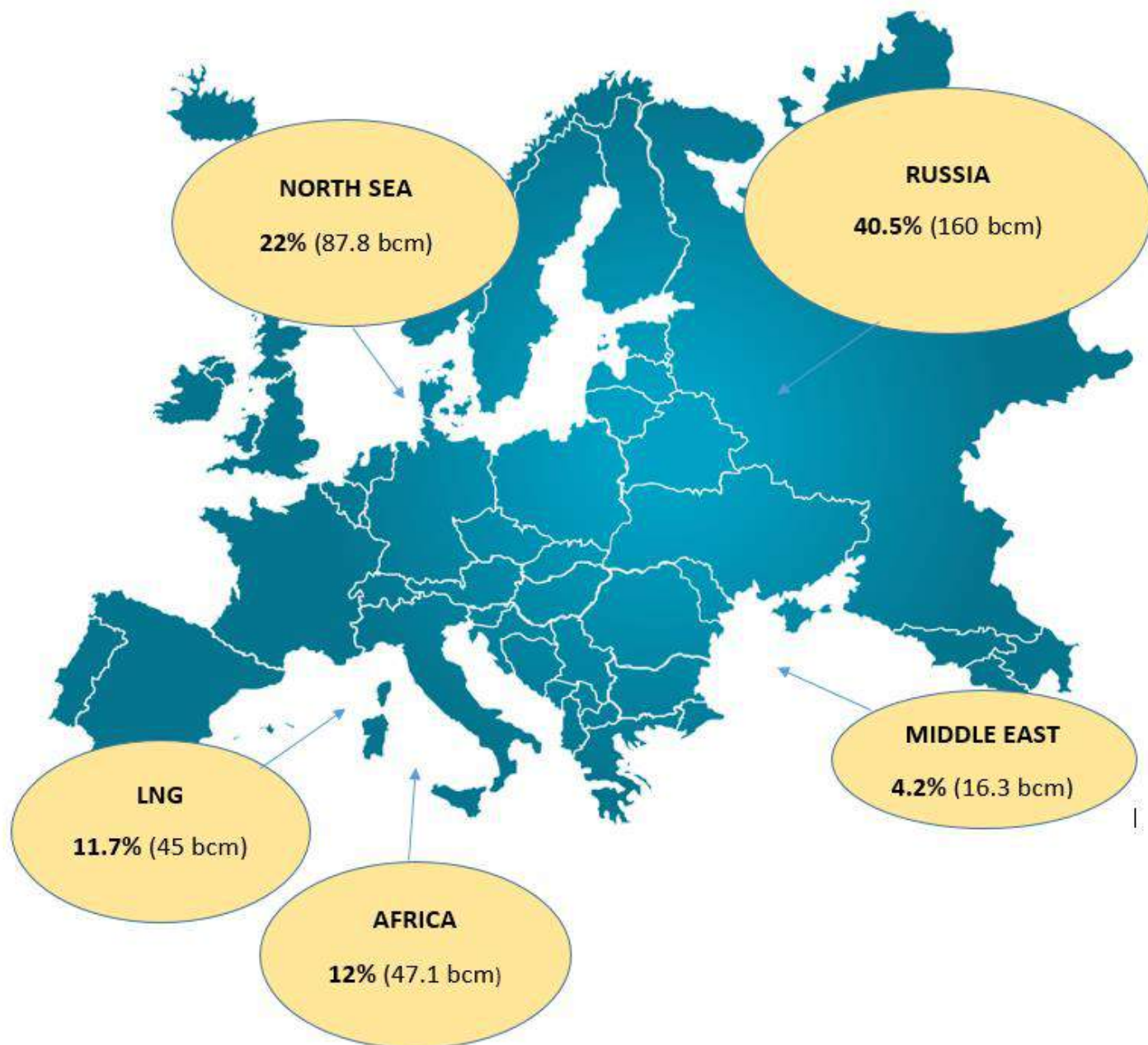
Σενάριο 0



Σχήμα 64: Αποτελέσματα ποσότητας φυσικού αερίου ανά αγωγή για το σενάριο 0 (bcm)

Σενάριο 0

Συνολική Καθαρή Ζήτηση Φυσικού Αερίου:
393.8 bcm

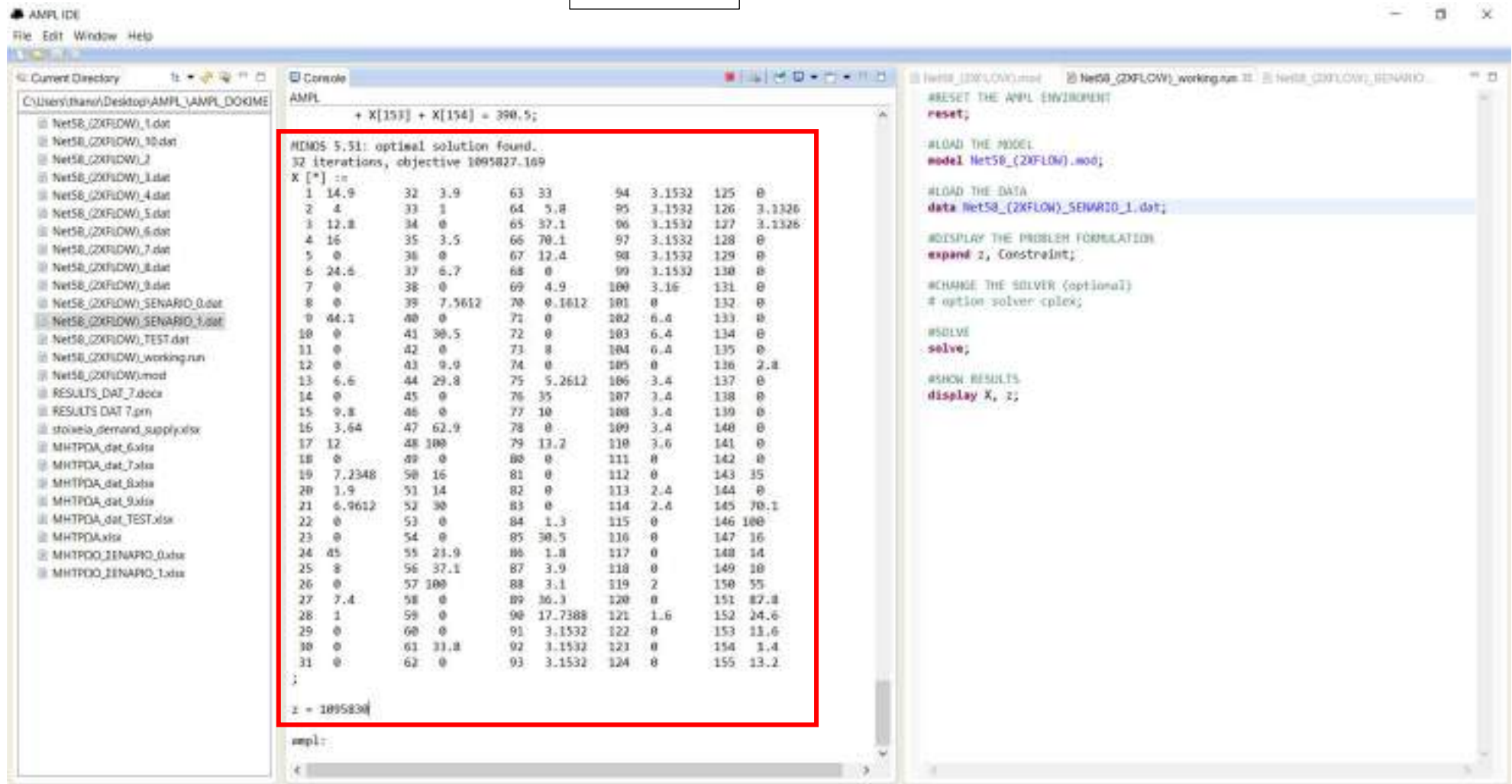


Σχήμα 65: Χάρτης Ευρώπης με τους πόλους τροφοδότησης φυσικού αερίου στο σενάριο 0.

4.6.2 Σενάριο 1

- Η Τουρκία έχει εκτιμώμενη ζήτηση 53,9 bcm, εκ των οποίων τα 30 bcm καλύπτονται από τα κοιτάσματα του Αζερμπαϊτζάν και του Ιράν. Η υπόλοιπη ζήτηση ικανοποιείται από τη Ρωσία και συγκεκριμένα από τον αγωγό Bluestream, ο οποίος καλύπτει το 45% της ζήτησης της σε σχέση με το σενάριο 0 που ο συγκεκριμένος αγωγός της δίνει το 65%.
- Η γεωγραφική θέση της Τουρκίας είναι ιδιαίτερα σημαντική και παίζει καθοριστικό ρόλο στην ενεργειακή σκακιέρα, καθώς αποτελεί τον συνδετικό κρίκο της Ευρώπης με τα κοιτάσματα φυσικού αερίου της Μέσης Ανατολής (Αζερμπαϊτζάν, Ιράν) και των αγωγών της νότιας Ρωσίας.
- Το δίκτυο που έχουμε κατασκευάσει έχει τη δυνατότητα να στέλνει ρωσικό αέριο από την Τουρκία στην Ευρώπη μέσω δύο αγωγών Turkstream και Tapan. Όμως παρατηρείται ότι το δίκτυο «προτιμά» να στέλνει ρωσικό αέριο στην Ευρώπη μόνο μέσω του αγωγού Turkstream και όχι μέσω Bluestream-Tapan καθώς η διαδρομή μέσω Turkstream έχει μικρότερο κόστος(μικρότερο μήκος).
- Η Ελλάδα έχει συνολική ζήτηση 8,6 bcm, την οποία την καλύπτει μέσω εισαγωγών LNG και από τη Ρωσία. Η Ρωσία στέλνει στην Ελλάδα 4,8 bcm μέσω Turkstream και τα υπόλοιπα 2,8 bcm καλύπτονται από αλγέρικο LNG μέσω του αναβαθμισμένου σταθμού της Ρεθυθούσας.
- Ο Turkstream αξιοποιείται στο 88% της χωρητικότητάς του, καλύπτοντας αρχικά την απαιτούμενη ζήτηση της Ελλάδας και σε συνέχεια τη ζήτηση των Βαλκανίων και κυρίως της Βουλγαρίας.
- Η ζήτηση της Ισπανίας έχει αυξηθεί στα 50 bcm. Παρατηρείται ότι η ζήτησή της δεν καλύπτεται μέσω των δύο αγωγών της Αλγερίας, αλλά ούτε και από τις αυξημένες εισαγωγές της σε LNG που φτάνουν τα 30 bcm. Έτσι, τροφοδοτείται από τον αγωγό που συνδέει τη Γαλλία με την Ισπανία (Midcat) με την απαιτούμενη ποσότητα των 5,8 bcm.
- Ο αγωγός που συνδέει τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας με τη Γερμανία δε δίνει καθόλου φυσικό αέριο, καθώς επιλέγονται πιο οικονομικές διαδρομές για να φτάσει το φυσικό αέριο στη Γερμανία και μετέπειτα στην Κεντρική Ευρώπη.

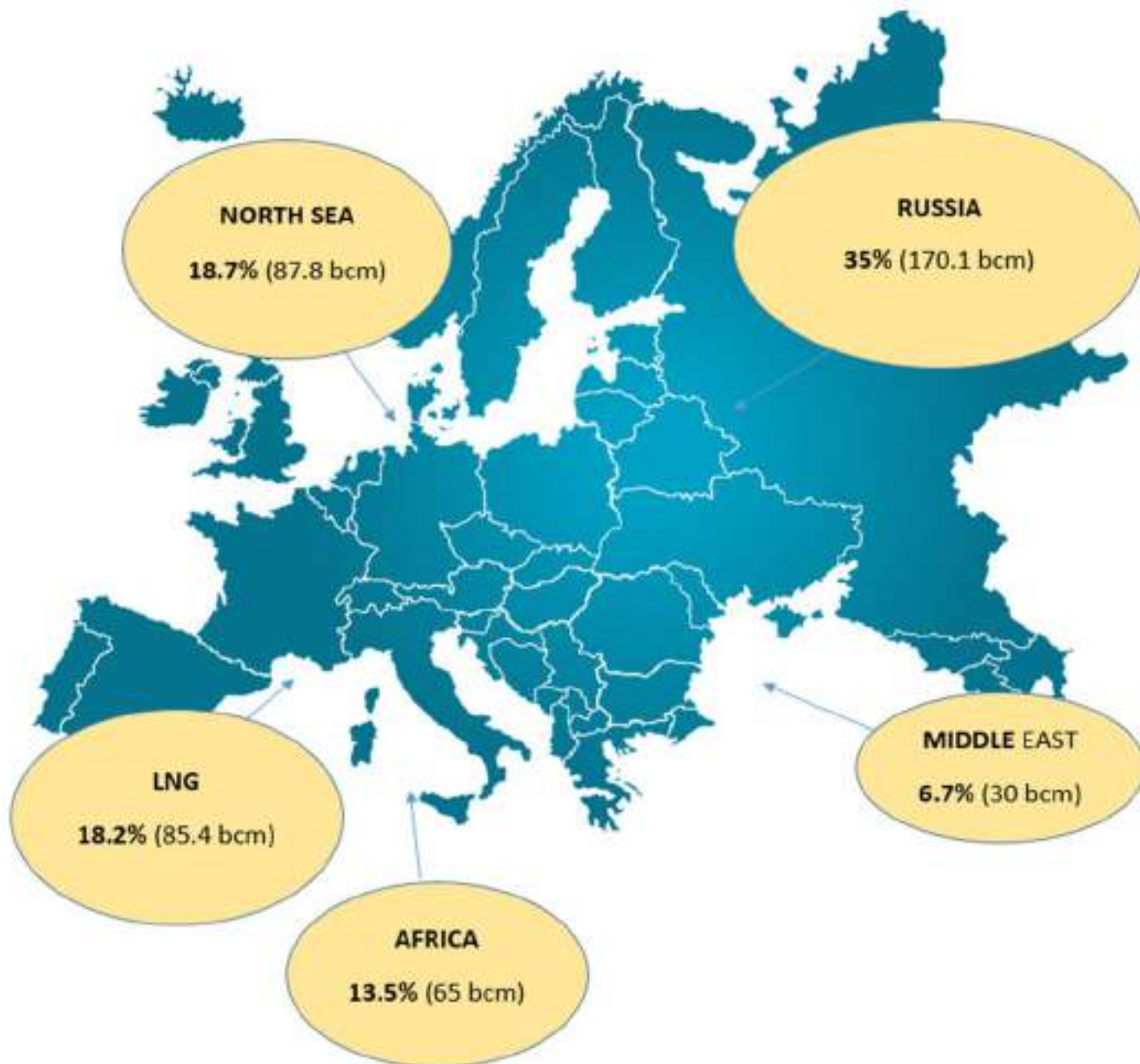
Σενάριο 1



Σχήμα 66: Αποτελέσματα ποσότητας φυσικού αερίου ανά αγωγή για το σενάριο 1 (bcm).

Σενάριο 1

Συνολική Καθαρή Ζήτηση Φυσικού Αερίου:
475.9 bcm

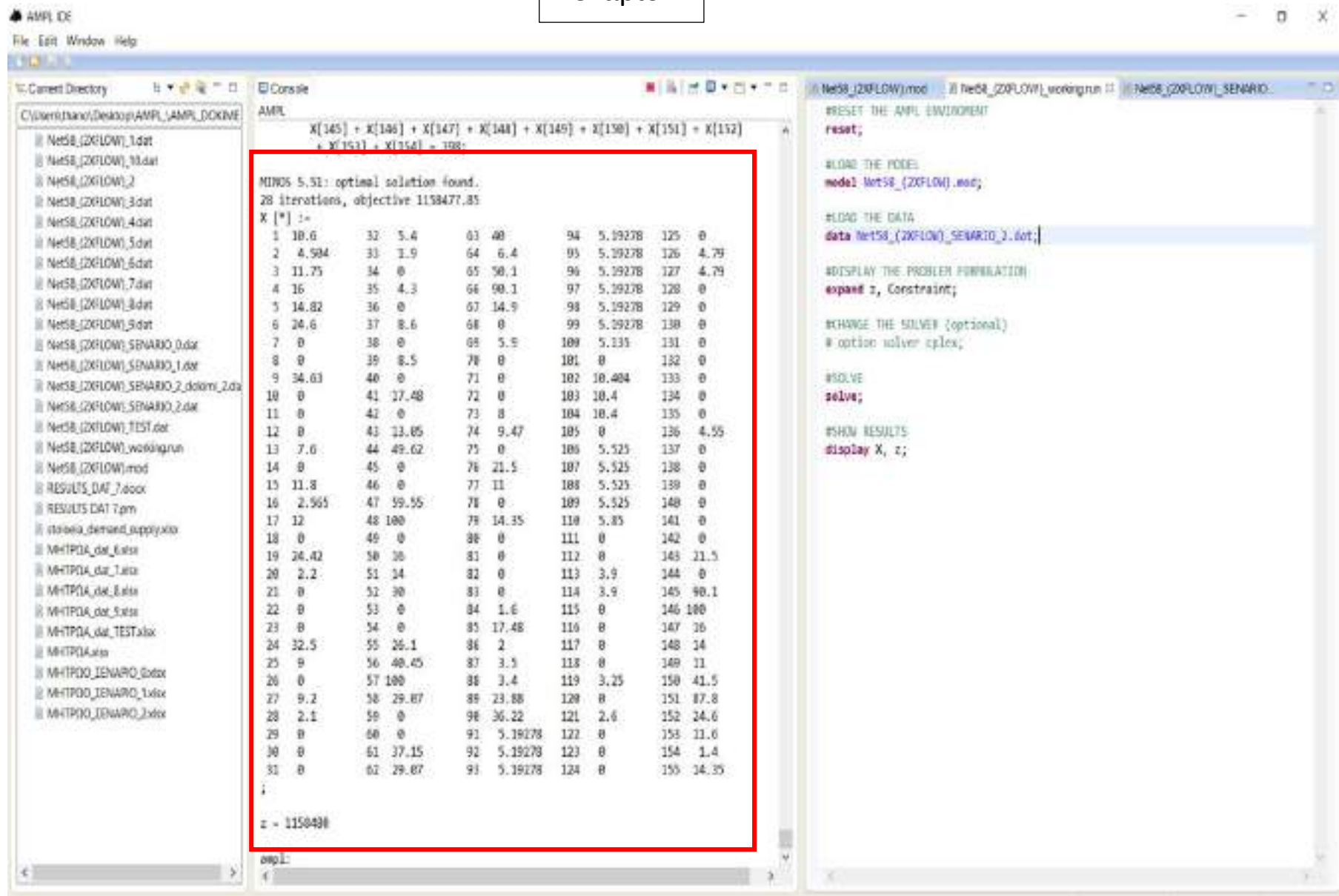


Σχήμα 67: Χάρτης Ευρώπης με τους πόλους τροφοδότησης φυσικού αερίου στο σενάριο 1.

4.6.3 Σενάριο 2

- Το Ηνωμένο Βασίλειο με νέα ζήτηση 37,3 bcm και η Ιρλανδία με ζήτηση 4,5 bcm καλύπτονται εξολοκλήρου από τον αγωγό της Βόρειας Θάλασσας και τις εισαγωγές LNG από το Κατάρ και όχι από τον αγωγό που συνδέει τις χώρες με την Ολλανδία.
- Η μεγάλη αύξηση των εισαγωγών LNG της Ισπανίας στα 46,7 bcm σε συνδυασμό με τη σταθερή ροή των 20 bcm από την Αλγερία έχει ως αποτέλεσμα ο αγωγός που συνδέει την Ισπανία με την Γαλλία (Midcat) να τροφοδοτεί την Γαλλία με 9,47 bcm.
- Το πλεόνασμα LNG της Ισπανίας της δίνει τη δυνατότητα πέρα από το να καλύπτει πλήρως τις ανάγκες της, να τροφοδοτεί πλέον και τη Γαλλία, καλύπτοντας το 14% των αναγκών της σε φυσικό αέριο.
- Η Ιταλία καλύπτει τα 32,5 bcm της συνολικής ζήτησης της (66,5 bcm) με φυσικό αέριο από την Αφρική μέσω των αγωγών Transmed και Greenstream και 9,58 bcm από εισαγωγές LNG. Τα υπολειπόμενα 25 bcm προέρχονται από ρωσικό αέριο μέσω της Αυστρίας.
- Στο σενάριο μας η Τουρκία έχει 56,1 bcm ζήτηση φυσικού αερίου, την οποία την καλύπτει με 26,1 bcm από τη Ρωσία μέσω του Bluestream και την υπόλοιπη ζήτηση (30 bcm) από τα κοιτάσματα της Κασπίας Θάλασσας μέσω Αζερμπαϊτζάν και Ιράν.

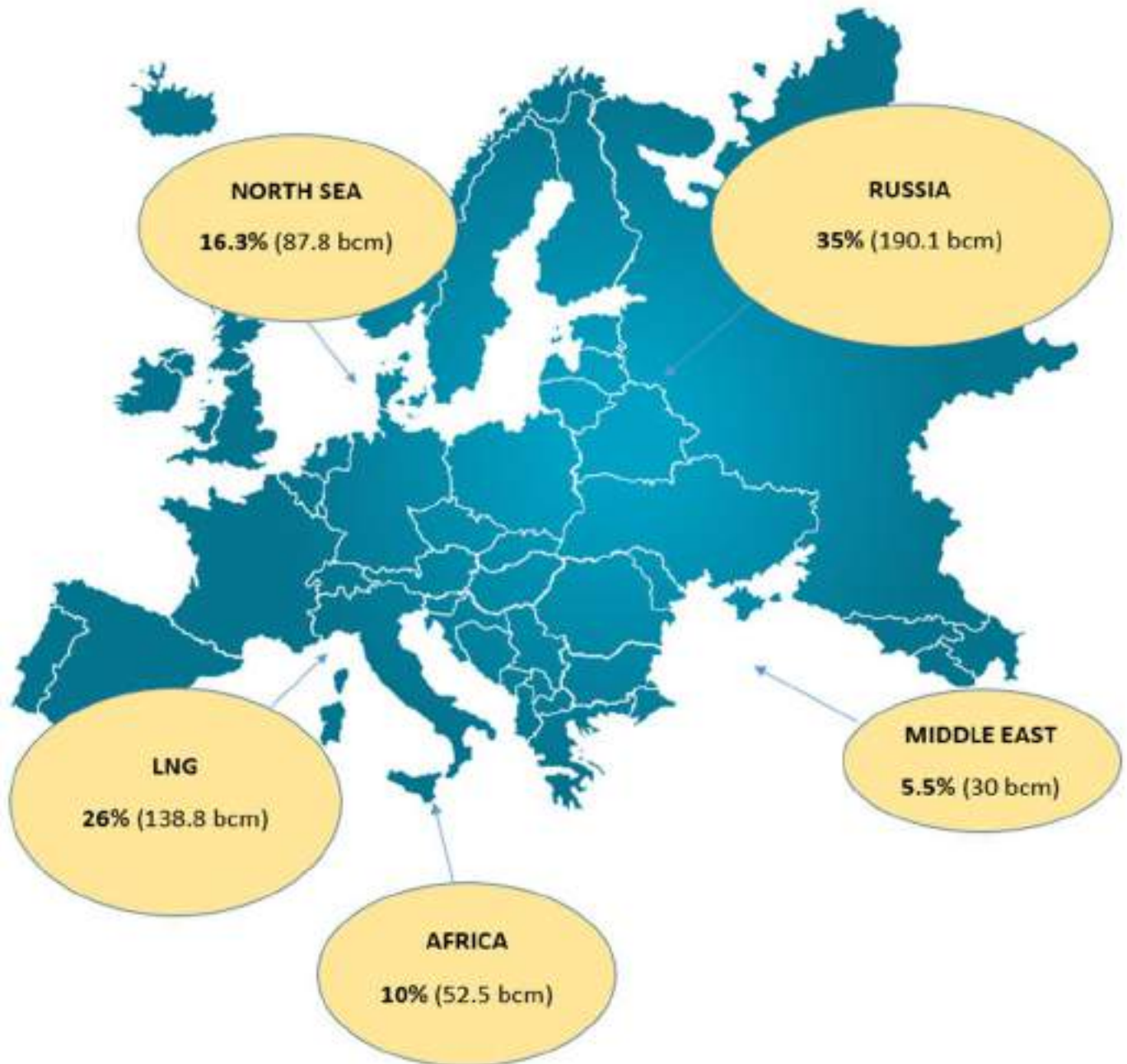
Σενάριο 2



Σχήμα 68: Αποτελέσματα ποσότητας φυσικού αερίου ανά αγωγό για το σενάριο 2 (bcm).

Σενάριο 2

Συνολική Καθαρή Ζήτηση Φυσικού Αερίου:
536.8 bcm



Σχήμα 69: Χάρτης Ευρώπης με τους πόλους τροφοδότησης φυσικού αερίου στο σενάριο 2.

5 Συμπεράσματα

Είναι γεγονός ότι στις αναπτυγμένες χώρες, όπου οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας έχουν καθιερωθεί και τα πρότυπα κατανάλωσης είναι πλέον ώριμα, η ζήτηση εμφανίζεται να είναι σταθερή με ελάχιστη ίσως αυξητική τάση, όπως και θεωρήθηκε στα σενάρια μας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια εκτενής ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν τη ζήτηση του φυσικού αερίου για να δημιουργηθούν ρεαλιστικά σενάρια με σκοπό να διερευνηθούν θέματα ενεργειακής ασφάλειας φυσικού αερίου στην Ευρώπη.

Στην υφιστάμενη κατάσταση (Σενάριο 0) παρατηρείται ότι η Ρωσία τροφοδοτεί την Ευρώπη με ποσοστό που φτάνει το 40%. Ακολουθούν τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας, η Αφρική και τέλος η Μέση Ανατολή με ποσοστά 22%, 12% και 4,2% αντίστοιχα. Το υπόλοιπο ποσοστό τροφοδότησης της Ευρώπης (11,7%) με φυσικό αέριο καλύπτεται από τις εισαγωγές LNG. Από τα ποσοστά αυτά φαίνεται η ισχυρή εξάρτηση της Ευρώπης από το ρωσικό αέριο.

Διατυπώθηκαν και επιλύθηκαν σενάρια ζήτησης και μελλοντικών υποδομών με γνώμονα τη διείσδυση του φυσικού αερίου στον οικιακό τομέα και στον τομέα των μεταφορών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μερίδιο της Ρωσίας στο φυσικό αέριο μπορεί να μειωθεί από το σημερινό 40% στο 30 ~ 35% παρόλο που τα σενάρια ζήτησης προβλέπουν αύξηση της ζήτησης κατά 60 και 120 bcm αντίστοιχα. Η μείωση αυτή επιτεύχθηκε στο μοντέλο λόγω της αύξησης των εισαγωγών σε LNG. Μπορεί να φαίνεται μικρή η μείωση της Ρωσίας σε ποσοστό του 5%, αλλά εάν δεν είχαμε τη μεγάλη αύξηση των εισαγωγών σε LNG στα σενάρια 1 και 2 τότε η Ρωσία θα έφτανε να τροφοδοτεί την Ευρώπη με 50% στο σενάριο 1 και με 51% στο σενάριο 2.

Ένα ακόμη συμπέρασμα, είναι ότι οι περιορισμοί της χωρητικότητας των αγωγών φυσικού αερίου της Αφρικής και της Μέσης Ανατολής δεν επιτρέπουν στις περιοχές αυτές να ισχυροποιήσουν τη θέση τους σε σχέση με τη Ρωσία. Συγκεκριμένα, οι αγωγοί της Αφρικής μπορούν να προσφέρουν στην Ευρώπη μέχρι 64 bcm και η Μέση Ανατολή μέχρι 39 bcm. Άρα τα ποσοστά των συγκεκριμένων δύο “πόλων” δεν μπορούν να αυξηθούν πολύ, σε αντίθεση με τη Ρωσία που λόγω της μεγάλης δυναμικότητας των αγωγών της μπορεί να τροφοδοτεί την Ευρώπη με υψηλές ποσότητες φυσικού αερίου.

Όσον αφορά την παροχή φυσικού αερίου από τη Βόρεια Θάλασσα, θεωρήσαμε ότι η παροχή αυτή θα παραμείνει σταθερή σε ποσότητα και θα τροφοδοτεί την Ευρώπη με 87,8 bcm, καθώς έρευνες υποστηρίζουν ότι δε θα αυξηθεί η παραγωγή φυσικού αερίου στη συγκεκριμένη περιοχή τα επόμενα χρόνια.

Στον Πίνακα 29 φαίνονται αναλυτικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο για να καταλήξουμε στα παρακάτω αποτελέσματα. Αποτελέσματα τα οποία βοήθησαν να αναλυθεί το πρόβλημα της ενεργειακής ασφάλειας του φυσικού αερίου στην Ευρώπη.

Πίνακας 29: Συγκεντρωτικός πίνακας κατανομής των βασικών πόλων παραγωγής.

	ΣΕΝΑΡΙΟ 0	ΣΕΝΑΡΙΟ 1	ΣΕΝΑΡΙΟ 2
	bcm		
Συνολική Ζήτηση	487	569.1	630
Συνολική Τοπική Παραγωγή	93.2	93.2	93.2
Καθαρή Ζήτηση	393.8	475.9	536.8
Συνολική Παροχή Αγωγών	348.8	390.5	398
Συνολική Παροχή LNG	45	85.4	138.8
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
ΡΩΣΙΑ	40.5% (160 bcm)	35% (170.1 bcm)	35% (190.1 bcm)
AZERMΠAITZAN-IPAN	4.2% (16.3 bcm)	6.7% (30 bcm)	5.5% (30 bcm)
AΦΡΙΚΗ	12% (47.1 bcm)	13.5% (65 bcm)	10% (52.5 bcm)
ΒΟΡΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΑ	22% (87.8 bcm)	18.7% (87.8 bcm)	16.3% (87.8 bcm)
LNG	11.7% (45 bcm)	18.2% (85.4 bcm)	26% (138.8 bcm)
ΕΥΡΩΠΗ	9.6% (37.6 bcm)	7.9% (37.6 bcm)	7.2% (37.6 bcm)

6 Εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα

Το συγκεκριμένο πεδίο έρευνας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και για το λόγο αυτό και σε συνέχεια της παρούσας εργασίας, προτείνονται κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Το κόστος των αγωγών θεωρήθηκε στην παρούσα διπλωματική ανάλογο του μήκους. Κάτι τέτοιο έχει μια ρεαλιστική βάση, όμως δεν ανταποκρίνεται πλήρως στην πραγματικότητα αφού οι τιμές προκύπτουν και μέσα από τις εκάστοτε συμφωνίες μεταξύ των χωρών και τα τέλη που απαιτούνται για τη διαμετακόμιση του αερίου. Η χρήση του πραγματικού κόστους μεταφοράς κάθε αγωγού θα αποτυπώσει πιο πιστά την πραγματικότητα.

7 Βιβλιογραφία

- [1] BP Statistical Review of World Energy, June 2016
- [2] Key World Energy Statistics [PDF]. (2016). International Energy Agency
- [3] Eu <http://ec.europa.eu/eurostat>
- [4] http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_103a&lang=en
- [5] Τόνος ισοδύναμου πετρελαίου. (2016, June 09). [https://el.wikipedia.org/wiki/ Τόνος ισοδύναμου πετρελαίου](https://el.wikipedia.org/wiki/Τόνος_ισοδύναμου_πετρελαίου)
- [6] Ioannis P. Panapakidis Athanasios S. Dagoumas (2017). Day-ahead natural gas demand forecasting based on the combination of wavelet transform and ANFIS/genetic algorithm/neural network model. *Energy* vol 118, pp.231-245
- [7] Wei Zhanga Jun Yangb (2015). Forecasting natural gas consumption in China by Bayesian Model Averaging. *Energy Reports* vol 1, pp.216 - 220
- [8] Faheemullah Shaikh, Qiang J Pervez Hameed Shaikh, Nayyar Hussain Mirjat, Muhammad Aslam Uqaili (2017). *Energy* vol 140, pp. 941 - 951
- [9] Jolanta Szoplik (2015) Forecasting of natural gas consumption with artificial neural networks” *Energy* vol 85, pp.208 - 220
- [10] Muhammad Arshad Khan (2015) “Modelling and forecasting the demand for natural gas in Pakistan” *Energy* vol. 85, pp. 208 – 220
- [11] Erkan Erdogdu (2010) “Natural gas demand in Turkey” *Applied Energy* vol. 87, pp. 211- 219
- [12] e3M LAB Institute of communication and computer systems, NTUA.
- [13] Bilge Hacisalihoglu (2008). Turkey's natural gas policy. *Energy Policy* 36, pp. 1867-1872
- [14] Wietze Lise, Benjamin F. Hobbs & Frits Van Oostvoorn (2008). Natural gas corridors between the EU and its main suppliers: Simulation results with the dynamic GASTALE model. *Energy Policy* 36, pp. 1890-1906.
- [15] Mert Bilgin (2009). Geopolitics of European natural gas demand: Supplies from Russia, Caspian and the Middle East. *Energy Policy* 37, pp. 4482-4492.
- [16] Takayama, T., & Judge, G. (1970). Alternative Spatial Equilibrium Models. *Journal Of Regional Science*, 10(1), 1-12. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9787.1970.tb00030.x>
- [17] De Wolf, D., & Smeers, Y. (2000). The Gas Transmission Problem Solved by an Extension of the Simplex Algorithm. *Management Science*, 46(11), 1454-1465. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.46.11.1454.12087>
- [18] Haris Doukas, Charikleia Karakosta, Alexandros Flamos, Maria Flouri, John Psarras (2011). Graph theory-based approach for energy corridors network to Greece. *International Journal of Energy Sector Mngement*, Vol. 5 Issue:1, pp. 60-80.
- [19] Maria Flouri, Charikleia Karakosta, Charikleia Kladouchou and John Psarras. (2014) How does a natural gas supply interruption affect the EU gas security? A Monte Carlo simulation. *Renewable and Sunstainable Energy Reviews* Vol. 44, pp. 785 - 796
- [20] Roger Z. Rios-Mercado & Conrado Borraz-Sanchez (2015). Optimization problems in natural gas transportation systems A state-of-the-art review. *Applied Energy* 147, pp.536-555.
- [21] Jens Bjørnmose, Ferran Roca, Tatsiana Turgot, & Dinne Smederup Hansen. (2009). An Assessment of the Gas and Oil Pipelines in Europe. Brussels: Policy Department. Retrieved from <http://www.europarl.europa.eu/activities/committees/studies.do?language=EN>
- [22] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421509004108>

-
- [23] THE EUROPEAN NEIGHBOURHOOD AND THE EU'S SECURITY OF SUPPLY WITH NATURAL GAS
Philipp Offenberg
- 24 World energy outlook 2013
- [25] Eurocoal Market Report 1/2016. (2016, May 22). Retrieved, from: <https://euracoal.eu/library/coal-market-reports/>
- [26] Διπλ.Εργασία : Μοντελοποίηση δικτύου αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου και διερεύνηση θεμάτων ενεργειακής ασφάλειας της Ευρώπης . Ανυφαντάκη Άννα.(2017)
- [27] Τεχνολογία πετρελαίου και φυσικού αερίου. (Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ)
- [28] BP statistical review 2016
- [29] Opec annual statistical bulletin 2017
- [30] <https://energy.gov/articles/how-and-why-replacing-whole-barrel> ## energy.gov
- [31] Williams, J. L. (2011). Oil Price History and Analysis. Retrieved July 10, 2017, from <http://www.wtrg.com/prices.htm>
- [32] BP statistical review 2016
- [33] <http://www.aerioattikis.gr/Default.aspx?pid=17&la=1>
- [34] Enerdata. (n.d.). World Natural gas Statistics. Retrieved from <https://yearbook.enerdata.net/natural-gas/world-natural-gas-production-statistics.html>
- [35] Opec annual statistical bulletin 2017
- [36]<http://www.europarl.europa.eu/portal/el>
- [37] <https://www.iea.org/>
- [38]<http://www.kathimerini.gr/>
- [39] Enerdata. (n.d.). World Natural gas Statistics. Retrieved from <https://yearbook.enerdata.net/natural-gas/world-natural-gas-production-statistics.html>
- [40] World Energy Outlook 2013. (2013). Paris: International energy agency.
- [41] BP Annual Report and Form 20-F 2013. (2014). London: BP
- [42] Melling, A. J. (2010). Natural gas pricing and its future. Washington: Carnegie Endowment.
- [43] International Gas Union Report (2013)
- [44] The European Natural Gas Network (2017). Brussels: Entsog.
- [45] Philipp Offenberg, Jacques Delors Institut - Berlin
- [46] Supplier countries - Energy - European Commission. Retrieved from <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/imports-and-secure-supplies/supplier-countries>
- [47] Who's dependent on Russian Gas [Map]. (n.d.). In East European Gas Analysis. Gazprom.
- [48] Gas Pipelines in the Ukraine [Map]. (n.d.). In The National Gas Union of Ukraine.
- [49] List of natural gas pipelines. (2017, April 17). Retrieved August 29, 2017, from https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_natural_gas_pipelines#Europe
- [50] Nord Stream. (2017, August 28). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Nord_Stream
- [51] www.nord-stream.com
- [52] Yamal–Europe pipeline. (2017, August 20). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Yamal%E2%80%93Europe_pipeline
- [53] Transportation. (n.d.). Retrieved August from <http://www.gazpromexport.ru/en/projects/4/>
-

-
- [54] Yamal–Europe pipeline - Alchetron, The Free Social Encyclopedia. (2016, January 18). Retrieved August 29, 2017, from <https://alchetron.com/Yamal%E2%80%93Europe-pipeline-5100831-W>
 - [55] Yafimava, Katja (2009). "Belarus: the domestic gas market and relations with Russia". In Pirani, Simon. *Russian and CIS Gas Markets and their Impact on Europe*. Oxford University
 - [56] Northern Lights (pipeline). (2016, November 03). Retrieved August 29, 2017, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Northern_Lights_\(pipeline\)#/media/File:Northernlights.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Northern_Lights_(pipeline)#/media/File:Northernlights.png)
 - [57] Transportation. (n.d.). Retrieved August 29, 2017, from <http://www.gazpromexport.ru/en/projects/transportation/>
 - [58] Retrieved from <http://www.gazprom.com/about/production/projects/pipelines/active/nord-stream/>
 - [59] Blue Stream. (2017, August 14). Retrieved August 29, 2017, from https://en.wikipedia.org/wiki/Blue_Stream
 - [60] Oil and gas journal. (n.d.). Retrieved from <http://www.ogj.com/articles/print/vol-110/issue-06/special-report-pipeline/new-tools-techniques.html>
 - [61] <http://interfaxenergy.com/gasdaily/article/15215/securing-the-future-of-turkish-stream>. (n.d.).
 - [62] Oil and gas production. (n.d.). Retrieved August 31, 2017, from <http://www.norskipetroleum.no/en/production-and-exports/oil-and-gas-production/>
 - [63] 09-Rørledning E-14032017. (n.d.). Retrieved, from http://www.norskipetroleum.no/en?attachment_id=16323
 - [64] Gas Pipelines that supply EU [Map]. (n.d.). In <http://www.learneurope.eu>.
 - [65] Chi-Kong Chyong & Louisa Slavkova & Vessela Tcherneva. (2015). *Europe*. Retrieved from http://www.ecfr.eu/article/commentary_europes_alternatives_to_russian_gas311666
 - [66] Greenstream pipeline. (2017, August 15). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Greenstream_pipeline
 - [67] Leigh Elston | Page 29 of 47. (n.d.). Retrieved from <http://interfaxenergy.com/author/leigh-elston/page=29>
 - [68] Maghreb–Europe Gas Pipeline. (2017, August 15). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Maghreb%E2%80%93Europe_Gas_Pipeline
 - [69] The gas pipeline. (n.d.). Retrieved August 30, 2017, from <http://www.emplpipeline.com/en/the-gas-pipeline/>
 - [70] Medgaz. (2017, August 15). Retrieved August 30, 2017, from <https://en.wikipedia.org/wiki/Medgaz>
 - [71] Oil and Gas Journal. (n.d.). *Algeria -Europe Pipeline System*. Retrieved from https://www.google.gr/search?q=trans%2Bmediterranean%2Bpipeline&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjavcPR9f7VAhVEG5oKHaf1A3UQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgsrc=GxqHcS3hrXRcM
 - [72] Trans-Mediterranean Pipeline. (2017, August 17). Retrieved August 30, 2017, from https://en.wikipedia.org/wiki/Trans-Mediterranean_Pipeline
 - [73] GALSI pipeline. (n.d.). Retrieved August 30, 2017, from <http://www.edison.it/en/galsi-pipeline>
 - [74] Southern Gas Corridor. (2017, August 08). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Southern_Gas_Corridor
 - [75] South Caucasus pipeline. (n.d.). Retrieved August 30, 2017, from http://www.bp.com/en_az/caspian/operations/projects/pipelines/SCP.html
 - [76] (n.d.). Retrieved August 30, 2017, from <https://www.enefit.lv/en/jaunumi/-/news/2014/10/16/energijas-tirgus-parskats-2014-gada-septembris>
-

-
- [77] Tabriz–Ankara pipeline. (n.d.). Retrieved from https://howlingpixel.com/wiki/Tabriz%E2%80%93Ankara_pipeline
- [78] Trans Anatolian Natural Gas Pipeline. (n.d.). Retrieved from <http://www.tanap.com/tanap-project/why-tanap/>
- [79] Turkey - TANAP Trans Anatolian Natural Gas Pipeline – LOT 3. (n.d.). Retrieved from http://www.tekfeninsaat.com.tr/pipeline_project_detail.asp?id=25
- [80] Construction of the Trans Adriatic Pipeline. Retrieved from <https://www.tap-ag.com/the-pipeline/building-the-pipeline>
- [81] Global Project. (n.d.). Retrieved from <http://www.globalproject.info/>
- [82] EU Reference Scenario 2016
- 83 Eurostat
- [84] IGU 2017 WORLD LNG REPORT
- [85] IGU 2017 WORLD LNG REPORT
- 86 IGU 2017 WORLD LNG REPORT
- [87] <https://www.iea.org/>
- 88 EIA
- 89 IGU 2017 WORLD LNG REPORT
- [90] Eurogas Statistical Report 2015
- 91 Eurostat
- 92 ACEA Report Vehicles in use Europe 2017
- 93 Eurostat
- 94 ACEA Report Vehicles in use Europe 2017