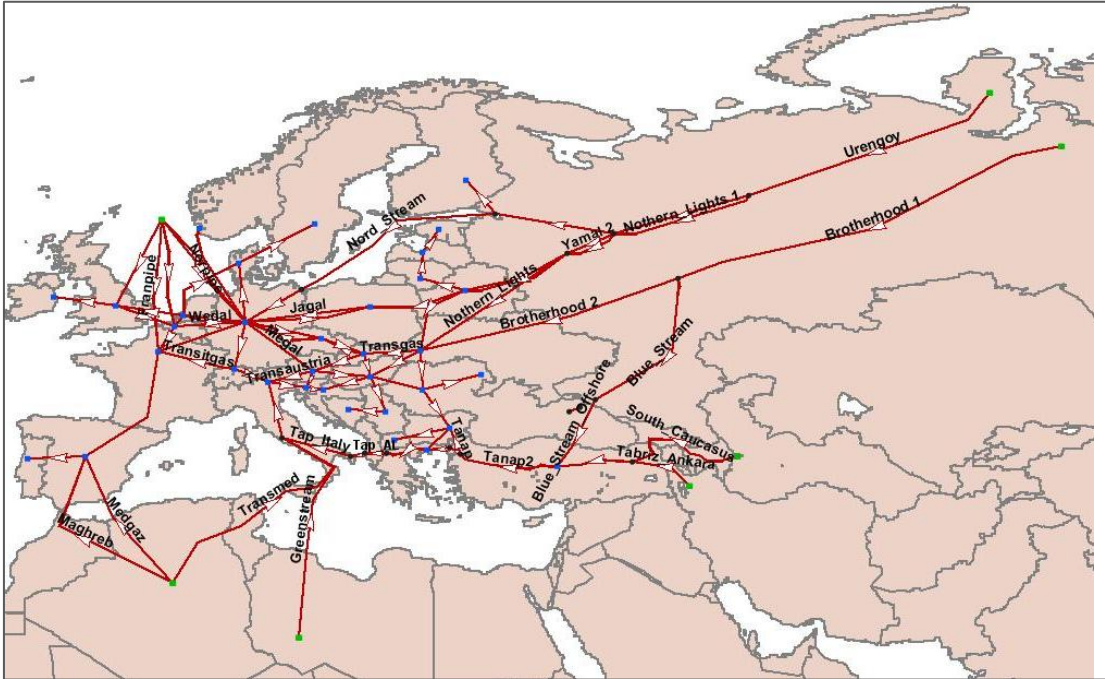


Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών



Μοντελοποίηση δικτύου αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου και διερεύνηση θεμάτων ενεργειακής ασφάλειας της Ευρώπης



Μεταπτυχιακή Εργασία
Άννα Δ. Ανυφαντάκη

Επιβλέπων:
Αθανάσιος Μπαλλής
Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

Μοντελοποίηση δικτύου αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου και διερεύνηση θεμάτων ενεργειακής ασφάλειας της Ευρώπης

Άννα Δ. Ανυφαντάκη
Επιβλέπων: Αθ. Μπαλλής

Σύνοψη

Η Ευρώπη εισάγει το 66% του φυσικού αερίου που καταναλώνει ενώ οι μεγαλύτεροι προμηθευτές της είναι η Ρωσία, οι χώρες της Β. Θάλασσας και η Αλγερία. Αυτό θέτει σημαντικά ερωτήματα ενεργειακής ασφάλειας και δημιουργεί την ανάγκη διαφοροποίησης των προμηθευτών της. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η διερεύνηση θεμάτων ενεργειακής ασφάλειας μέσω της ανάπτυξης σεναρίων με τη χρήση μοντέλου αγωγών αερίου της Ευρώπης, που δημιουργήθηκε σε περιβάλλον ArcGIS και TransCAD. Η επίλυση έγινε με τη χρήση της μεθόδου ροής ελαχίστου κόστους. Τα σενάρια ενεργειακής ασφάλειας αφορούσαν τη μείωση της τροφοδοσίας από τη Ρωσία, με ταυτόχρονη εκμετάλλευση της δυναμικότητας του υφιστάμενου δικτύου και τα νέα έργα που πρόκειται να υλοποιηθούν. Τα συμπεράσματα των ανωτέρω διερευνήσεων είναι ότι στο δίκτυο μπορεί εφαρμοστεί συνολική μείωση κατά 45% της τροφοδοτούμενης ποσότητας από τη Ρωσία, αξιοποιώντας τις εναλλακτικές πηγές τροφοδοσίας (αύξηση κατά 21%) και τους νέους αγωγούς.

Natural Gas Pipeline Network Modeling and examination of Energy Security issues in Europe

Anna D. Anyfantaki
Supervisor: Ath. Ballis

Abstract

Europe imports 66% of the total natural gas that is consumed domestically, whilst the main suppliers are Russia, countries of the North Sea Region and Algeria. This creates critical questions regarding the energy security and the diversification of energy suppliers. The aim of this thesis, is the examination of energy security issues developing scenarios using a European gas pipeline model, that was created in ArcGIS and TransCAD software. The problem was solved using the Minimum Cost Flow Method. The energy security scenarios were evaluated regarding the reduction in natural gas supplementation from Russia whilst simultaneously taking advantage of the capacity of the existing network as well as the new projects, which are going to be implemented. The main result of the aforementioned research was that, a total reduction of 45% in Russia's natural gas could be applied, utilizing alternative sources (21% increase) and planned pipelines.

Περίληψη Διπλωματικής Εργασίας

Το φυσικό αέριο αποτελεί τη φιλικότερη προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας μετά της ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στην Ευρώπη όμως παρουσιάζεται μεγάλη διαφορά μεταξύ της ποσότητας που καταναλώνεται σε σχέση με την ποσότητα που παράγεται. Έτσι αναγκάζεται να εισάγει περίπου το 66% του αερίου που καταναλώνει. 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 περίπου στο 20%, αλλά έκτοτε έχουν μειωθεί σε περίπου 15%, λόγω των υψηλότερων τιμών στην Ασία. Γίνεται αντιληπτό ότι τίθενται σημαντικά θέματα ενεργειακής ασφάλειας που αφορούν το φυσικό αέριο, τα οποία η Ευρωπαϊκή ένωση καλείται να διερευνήσει.

Στην παρούσα διπλωματική, στόχος είναι η κατασκευή προσομοιωτικού μοντέλου του δικτύου αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Το μοντέλο δημιουργήθηκε στο περιβάλλον ArcGIS, όπου απεικονίστηκαν οι βασικοί αγωγοί από τις χώρες που τροφοδοτούν την Ευρώπη ορίζοντας το όνομα, το μήκος και τη δυναμικότητα του κάθε αγωγού. Οι κόμβοι του εσωτερικού δικτύου αποτελούν τις χώρες κατανάλωσης. Στα σημεία αυτά έχει τοποθετηθεί η καθαρή ζήτηση, που προκύπτει από τη ζήτηση κάθε χώρας αφαιρώντας την τοπική παραγωγή και τις εισαγωγές LNG. Κάθε χώρα αντιπροσωπεύεται από έναν κόμβο κατανάλωσης, το σημείο όπου ξεκινούν και καταλήγουν οι αγωγοί που διέρχονται από κάθε χώρα. Το εσωτερικό δίκτυο της Ευρώπης αποτελείται από τις βασικές συνδέσεις μεταξύ των χωρών βάσει του υφιστάμενου δικτύου, χωρίς περιορισμό δυναμικότητας. Μόνο ο αγωγός Ισπανίας-Ιταλίας σημειώθηκε με ανώτερο όριο δυναμικότητας, επειδή αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στο δίκτυο αφού είναι στο σημείο αυτό ο μοναδικός αγωγός σύνδεσης.

Το δημιουργημένο μοντέλο εισήχθη στο πρόγραμμα TransCAD, ένα πακέτο λογισμικού που ενσωματώνει το ArcGIS με μοντέλα ζήτησης και Logistics, όπου μετά από την δημιουργία των απαραίτητων συνόλων κόμβων και γραμμικών στοιχείων έγινε επίλυση του προβλήματος μεταφοράς φυσικού αερίου. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέθοδος ροής ελαχίστου κόστους, που αποτελεί μία γενίκευση του προβλήματος μεταφοράς λαμβάνοντας υπόψη και τη δυναμικότητα των συνδέσεων μεταφοράς και βρίσκει εφαρμογή σε πολλά προβλήματα ροών σε δίκτυα. Το κόστος θεωρήθηκε ότι είναι ανάλογο του μήκους και αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την μηδενική ροή από κάποιους αγωγούς που ήταν βασικοί για το σύστημα. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε μέσω της χρήσης του κατώτατου ορίου παροχής σε τρεις αγωγούς.

Τα αποτελέσματα εισήχθησαν σε ένα αυτοματοποιημένο excel που δημιουργήθηκε και ήταν σε θέση να ελέγχει την ικανοποίηση της ζήτησης κάθε κόμβου. Από τις ροές που προέκυψαν και από τον έλεγχο κάλυψης της ζήτησης των κόμβων κατανάλωσης

διαπιστώθηκε ότι το κατασκευασμένο μοντέλο στο TransCAD προσεγγίζει ικανοποιητικά το υφιστάμενο δίκτυο για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής , αφού περιέχει τους βασικούς αγωγούς που απαρτίζουν το δίκτυο τροφοδοσίας φυσικού αερίου της Ευρώπης, με υφιστάμενους περιορισμούς μεταφορικής ικανότητας, αποτυπώνει τις ανάγκες κάθε χώρας και δείχνει τις συνδέσεις μεταξύ κρατών.

Ακολούθως, αναπτύχθηκαν σενάρια ενεργειακής ασφάλειας. Συγκεκριμένα εξετάστηκε το ενδεχόμενο να μειωθούν οι ποσότητες που τροφοδοτούν την Ευρώπη από τη Ρωσία με παράλληλη αύξηση σε πρώτο στάδιο της εκμετάλλευσης των υπολοίπων πηγών αερίου και σε δεύτερο στάδιο την κατασκευή των προγραμματισμένων προς υλοποίηση αγωγών από την Αφρική και τη Μέση Ανατολή.

Σε γενικές γραμμές φαίνεται ότι μπορεί να εφαρμοστεί συνολική μείωση κατά 45% της τροφοδοτούμενης ποσότητας από τη Ρωσία, αξιοποιώντας τις εναλλακτικές πηγές τροφοδοσίας και τα νέα έργα που έχουν προβλεφθεί να υλοποιηθούν. Από το ποσοστό αυτό το υφιστάμενο δίκτυο είναι σε θέση να δεχτεί μείωση 21%, αντισταθμίζοντας τη μείωση αυτή με αξιοποίηση της δυναμικότητας των ήδη υπαρχόντων αγωγών.

Στα σενάρια αυτά, ο αγωγός που συνδέει την Ισπανία με τη Γαλλία (bottleneck) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, αφού φαίνεται από τα αποτελέσματα ότι απαιτείται η πλήρης αξιοποίησή του. Ταυτόχρονα το μοντέλο παρουσίασε τη σημαντικότητα των υποδομών του εσωτερικού δικτύου της Ευρώπης. Το γεγονός ότι υπάρχουν χώρες, όπως η Φιλανδία και η Μολδαβία, που οι αγωγοί που φτάνουν σε αυτές προέρχονται από μοναδικό προμηθευτή, μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα σε περίπτωση μείωσης της παροχής από αυτόν. Το ίδιο ισχύει και για τις χώρες στις οποίες φτάνει το φυσικό αέριο και είναι υπεύθυνες για την περαιτέρω διαμετακόμισή του.

Ολοκληρώνοντας τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν σε αυτή την προσπάθεια.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέποντα της εργασίας κ. Αθ. Μπαλλή για τη συνεργασία μας όλο αυτό το διάστημα, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τη σωστή καθοδήγηση και τα κίνητρα που μου έδωσε.

Ένα θερμό ευχαριστώ οφείλω σε όλα τα μέλη του τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής και κυρίως την κ. Τατιάνα Μοσχόβου και κ. Σφακιανάκη Εύη για την πολύτιμη βοήθειά τους, την υπομονή που έδειξαν και το ευχάριστο κλίμα συνεργασίας.

Ακόμη, ευχαριστώ από καρδιάς το Κοινωφελές Ίδρυμα Αλεξάνδρου Ωνάση που πίστεψε σε εμένα και μέσω της υποτροφίας που μου χορήγησε κατάφερα να ολοκληρώσω τις μεταπτυχιακές σπουδές μου στο ΕΜΠ.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους δικούς μου ανθρώπους που βρίσκονται πάντα δίπλα μου, με στηρίζουν και με οδηγούν μπροστά.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Εισαγωγή	17
1.1 Η ενέργεια στη σύγχρονη κοινωνία	17
1.2 Βασικές έννοιες της ενέργειας	21
1.2.1 Πρωτογενής και Δευτερογενής ενέργεια	21
1.2.2 Ενέργεια από Μη Ανανεώσιμες και Ανανεώσιμες Πηγές	22
1.2.3 Η έννοια του Τόνου Ισοδύναμου Πετρελαίου	25
1.3 Η έννοια της ενέργειας στις μεταφορές	25
1.4 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας	26
1.5 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας	26
2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση	29
2.1 Επιστημονικές Δημοσιεύσεις για τη βέλτιστη χάραξη των αγωγών	29
2.2 Επιστημονικές Δημοσιεύσεις για την επιλογή βέλτιστης διαδρομής	31
2.3 Επιστημονικές Δημοσιεύσεις για τη βελτιστοποίηση της ροής των αγωγών αερίου ..	35
2.4 Επιστημονικές Δημοσιεύσεις ως εργαλεία ενημέρωσης και σχετικές με την ενεργειακή ασφάλεια	35
2.5 Επιστημονικές Δημοσιεύσεις για το μέλλον του φυσικού αερίου	39
2.6 Επιστημονικές Δημοσιεύσεις σχετικές με την ισορροπία της αγοράς.....	41
3. Ανάλυση των βασικών καυσίμων	47
3.1 Άνθρακας.....	47
3.1.1 Είδη των γαιανθράκων	47
3.1.2 Τρόποι εξόρυξης του άνθρακα.....	48
3.1.3 Μεταφορά και καύση του άνθρακα	49
3.1.4 Τιμές άνθρακα	49
3.1.5 Μελλοντικές τάσεις ζήτησης του άνθρακα.....	50
3.1.6 Συμβόλαια Άνθρακα.....	52
3.2 Πετρέλαιο	55
3.2.1 Είδη πετρελαίου	55
3.2.2 Σχηματισμός Πετρελαίου	55
3.2.3 Εξόρυξη και άντληση πετρελαίου	56

3.2.4 Μεταφορά πετρελαίου	58
3.2.5 Επεξεργασία Πετρελαίου	59
3.2.6 Σχιστολιθικό Πετρέλαιο.....	60
3.2.7 Ιδιότητες Αργού Πετρελαίου.....	61
3.2.8 Πόσο πετρέλαιο υπάρχει και πού βρίσκεται	61
3.2.9 Ζήτηση πετρελαίου	63
3.2.10 Τιμή πετρελαίου	65
3.3 Φυσικό Αέριο	67
3.3.1 Ιδιότητες Φυσικού Αερίου	67
3.3.2 Πλεονεκτήματα Φυσικού Αερίου.....	67
3.3.3 Εξόρυξη και Μεταφορά Φ.Α	68
3.3.4 Κόστος αγωγών Φ.Α	68
3.3.5 Σύγκριση πετρελαίου και φυσικού αερίου.....	69
3.3.6 Σχιστολιθικό Αέριο	69
3.3.7 Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)	70
3.3.8 Αγορά Φυσικού Αερίου.....	72
3.3.9 Η επίδραση των τεχνολογικών εξελίξεων στο Φ.Α.....	79
4. Δίκτυο Αγωγών Φυσικού Αερίου στην Ευρώπη	81
4.1 Περιγραφή υφιστάμενου δικτύου.....	81
4.1.1 Αγωγοί Φυσικού Αερίου από τη Ρωσία	84
4.1.2 Αγωγοί Φυσικού Αερίου από τη Βόρεια Θάλασσα	92
4.1.3 Αγωγοί Φυσικού Αερίου από την Αφρική.....	102
4.1.4 Αγωγοί Φυσικού Αερίου από τη Μέση Ανατολή	106
4.2 Υπολογιστικά Εργαλεία.....	114
4.2.1 Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ArcGIS	114
4.2.2 Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών TransCAD	114
4.3 Περιγραφή του Μοντέλου	122
4.3.1 Δημιουργία Δικτύου στο ArcGIS.....	122
4.3.2 Εισαγωγή Δικτύου στο TransCAD.....	129
4.4 Ανάπτυξη σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας	142

4.4.1 Σενάριο 0: Μείωση της τροφοδοσίας από τη Ρωσία χωρίς αλλαγή στο δίκτυο ..	143
4.4.2 Σενάριο 1: Μείωση της τροφοδοσίας από τη Ρωσία με αλλαγές στο δίκτυο	145
5. Συμπεράσματα και Εισηγήσεις	153
5.1 Συμπεράσματα Διπλωματικής Εργασίας	153
5.2 Εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα.....	154
Παράρτημα	155
Βιβλιογραφία	157

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Κατανομή ενέργειας σε διάφορους τομείς δραστηριοτήτων.	18
Σχήμα 2: Κατά κεφαλήν ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας σε τόνους ισοδύναμου πετρελαίου στην Ευρώπη για το έτος 2014.	19
Σχήμα 3: Συγκριτικός Πίνακας ποσοστών συμμετοχής καυσίμων στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας για τα έτη 1973 και 2014.	20
Σχήμα 4: Η αγορά του άνθρακα στην Ευρώπη.....	51
Σχήμα 5: Βασικοί όροι συμβολαίων άνθρακα.....	54
Σχήμα 6: Σχηματική απεικόνιση τιμής και μεθόδου άντλησης πετρελαίου.	58
Σχήμα 7: Εκατομμύρια βαρέλια τη μέρα (1 εξάμηνο 2016).	63
Σχήμα 8: Ζήτηση πετρελαίου ανά γεωγραφική περιοχή, σύμφωνα με την ΙΕΑ.	64
Σχήμα 9: Παγκόσμια ζήτηση πετρελαίου ανά κατηγορία παραγώγων πετρελαίου, σύμφωνα με την ΙΕΑ.....	64
Σχήμα 10: Χρονική εξέλιξη τιμών πετρελαίου.....	66
Σχήμα 11: Συγκριτικός Πίνακας κόστους- απόστασης μεταφοράς για είδη αγωγών.	69
Σχήμα 12: Παγκόσμιος χάρτης κατανάλωσης Φυσικού Αερίου.	73
Σχήμα 13: Η ζήτηση Φυσικού Αερίου σύμφωνα με το New Policies Σενάριο για το έτος 2035.	74
Σχήμα 14: Η παγκόσμια ζήτηση Φυσικού Αερίου ανά τομέα σύμφωνα με το New Policies Σενάριο.....	75
Σχήμα 15: Παγκόσμιος χάρτης παραγωγής Φυσικού Αερίου.....	77
Σχήμα 16: Ισοζύγιο Φυσικού Αερίου στην Ευρώπη σύμφωνα με το New Policies Σενάριο.	78
Σχήμα 17: Τα ποσοστά εμπορευόμενου Φυσικού Αερίου ανάλογα με το μηχανισμό διαμόρφωσης τιμής'	79
Σχήμα 18: Το Ευρωπαϊκό δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου.....	81
Σχήμα 19: Απλοποιημένος Χάρτης βασικών ροών φυσικού αερίου στην Ευρώπη με αγωγούς.....	82
Σχήμα 20: Η τμηματοποίηση της Ευρωπαϊκής αγοράς αερίου.	83
Σχήμα 21: Σχηματική απεικόνιση της εξάρτησης εισαγωγής φυσικού αερίου από τη Ρωσία.	84
Σχήμα 22: Τα σημεία εισόδου και εξόδου του ρώσικου αερίου μέσω της Ουκρανίας.	85
Σχήμα 23: Κύριοι αγωγοί τροφοδοσίας Ευρώπης με προέλευση τη Ρωσία.....	86

Σχήμα 24: Ο αγωγός φυσικού αερίου Nord Stream.	87
Σχήμα 25: Ο αγωγός φυσικού αερίου Yamal-Europe.	88
Σχήμα 26: Ο αγωγός φυσικού αερίου Northern Lights.....	89
Σχήμα 27: Ο αγωγός φυσικού αερίου Blue Sream.....	91
Σχήμα 28: Οι αγωγοί Turkish Stream και South Stream (που ακυρώθηκε).....	92
Σχήμα 29: Τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας.	93
Σχήμα 30: Το σύστημα αγωγών φυσικού αερίου από τη Βόρεια θάλασσα.	94
Σχήμα 31: Χάρτης του μεγάλου κοιτάσματος Groningen.	95
Σχήμα 32: Το σύστημα μεταφοράς Frigg.....	96
Σχήμα 33: Ο αγωγός φυσικού αερίου Fulmar.....	97
Σχήμα 34: Το σύστημα αγωγών φυσικού αερίου CATS	98
Σχήμα 35: Ο αγωγός πετρελαίου και φυσικού αερίου Norpipe.	99
Σχήμα 36: Οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου Europipe I και Europipe II.	100
Σχήμα 37: Ο αγωγός μεταφοράς φυσικού αερίου Zeerpipe.....	101
Σχήμα 38: Βασικές διαδρομές αγωγών φυσικού αερίου από την Β. Αφρική.	102
Σχήμα 39: Ο αγωγός φυσικού αερίου GreenStream.	103
Σχήμα 40: Το βάθος του αγωγού φυσικού αερίου GreenStream.....	103
Σχήμα 41: Ο αγωγός Φυσικού αερίου Maghreb-Europe.	104
Σχήμα 42: Ο αγωγός φυσικού αερίου Trans Mediterranean.....	105
Σχήμα 43: Ο Νότιος Διάδρομος.	107
Σχήμα 44: Ο αγωγός φυσικού αερίου Tabriz Ankara.	108
Σχήμα 45: Ο αγωγός φυσικού αερίου TAP.....	110
Σχήμα 46: Σχηματική απεικόνιση δικτύου 1.	116
Σχήμα 47: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 1.	117
Σχήμα 48: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 2.	117
Σχήμα 49: Σχηματική απεικόνιση δικτύου 3.	118
Σχήμα 50: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 3.	118
Σχήμα 51: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 4.	119
Σχήμα 52: Σχηματική απεικόνιση του δικτύου 5.....	120
Σχήμα 53: Αποτέλεσμα επίλυσης δικτύου 5.	121

Σχήμα 54: Οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου από τη Ρωσία στο μοντέλο.	124
Σχήμα 55: Οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου από τη Βόρεια Θάλασσα στο μοντέλο.	125
Σχήμα 56: Οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου από την Αφρική στο μοντέλο.	126
Σχήμα 57: Οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου από τη Μέση Ανατολή στο μοντέλο.	127
Σχήμα 58: Το εσωτερικό δίκτυο αγωγών στην Ευρώπη στο μοντέλο.	128
Σχήμα 59: Το μοντέλο αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου στο περιβάλλον TransCAD.	129
Σχήμα 60: Σχηματική απεικόνιση ροών ποσοτήτων φυσικού αερίου σε κάθε κόμβο.	131
Σχήμα 61: Στάδιο δημιουργίας συνόλων παραγωγής και κατανάλωσης.	133
Σχήμα 62: Το στάδιο δημιουργίας δικτύου στο TransCAD.	135
Σχήμα 63: Το στάδιο ορισμού παραμέτρων του MCF στο TransCAD.	136
Σχήμα 64: Επιτυχής επίλυση προβλήματος MCF με το πρόγραμμα TransCAD.	137
Σχήμα 65: Σχηματική απεικόνιση της ροής των αγωγών φυσικού αερίου ως αποτέλεσμα της επίλυσης MCF μέσω του TransCAD (χωρίς βαθμονόμηση).	138
Σχήμα 66: Σχηματική απεικόνιση της ροής των αγωγών φυσικού αερίου ως αποτέλεσμα της επίλυσης MCF μέσω του TransCAD (με βαθμονόμηση).	140
Σχήμα 67: Σχηματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων ροής αγωγών για το δεύτερο υποσενάριο.	147
Σχήμα 68: Γραφική απεικόνιση του ελλείμματος/πλεονάσματος αερίου στην Ιταλία.	149
Σχήμα 69: Απεικόνιση των σεναρίων 1.1-1.5.	149
Σχήμα 70: Αποτύπωση ροών φυσικού αερίου στους αγωγούς όπου φαίνεται η αξιοποίηση του Νοτίου διαδρόμου.	150

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικά στοιχεία ερευνών που αναλύθηκαν στη βιβλιογραφική επισκόπηση.....	44
Πίνακας 2: Κατανάλωση Φυσικού Αερίου.	73
Πίνακας 3: Παραγωγή Φυσικού Αερίου ανά χώρα.....	77
Πίνακας 4: Συγκεντρωτικός πίνακας αγωγών φυσικού αερίου από Ρωσία και Β. Θάλασσα.	112
Πίνακας 5: Συγκεντρωτικός πίνακας αγωγών φυσικού αερίου από Αφρική και Μ. Ανατολή.	113
Πίνακας 6: Δεδομένα εισόδου δικτύου 1.....	116
Πίνακας 7: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 1.	117
Πίνακας 8: Δεδομένα εισόδου δικτύου 3.	118
Πίνακας 9: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 3.	119
Πίνακας 10: Δεδομένα εισόδου δικτύου 4.....	119
Πίνακας 11: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 4.	120
Πίνακας 12: Δεδομένα εισόδου δικτύου 5.....	120
Πίνακας 13: Αποτέλεσμα επίλυσης δικτύου 5.	121
Πίνακας 14: Ετήσια παραγωγή φυσικού αερίου.	130
Πίνακας 15: Στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης φυσικού αερίου.....	132
Πίνακας 16: Δεδομένα κατανάλωσης και ζήτησης για το πρόγραμμα TransCAD.....	134
Πίνακας 17: Έλεγχος κάλυψης ζήτησης των κόμβων κατανάλωσης του μοντέλου.	139
Πίνακας 18: Έλεγχος κάλυψης της ζήτησης των κόμβων για μείωση της τροφοδοσίας από τη Ρωσία κατά 50%.....	144
Πίνακας 19: Έλεγχος κάλυψης ζήτησης των κόμβων για το πρώτο υποσενάριο.	146
Πίνακας 20: Έλεγχος κάλυψης της ζήτησης των κόμβων στο τέταρτο και πέμπτο υποσενάριο.	151

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Εισαγωγή

1.1 Η ενέργεια στη σύγχρονη κοινωνία

Η ζωή δεν μπορεί να υπάρξει χωρίς την ενέργεια. Ο σύγχρονος πολιτισμός εξαρτάται από την αποτελεσματική αξιοποίηση και χρήση της, τόσο για την παραγωγή ηλεκτρισμού όσο και την παραγωγή της κίνησης. Συνεχώς μετασχηματίζεται από τη μία μορφή στην άλλη και χωρίς το ενεργειακό πλεόνασμα δεν θα υπήρχε η δυνατότητα σχηματισμού μιας σύνθετης και τεχνολογικά προηγμένης κοινωνίας. Η απουσία της ενέργειας αποτελεί ταυτόχρονα και αφαίρεση της δυνατότητας κίνησης, των επικοινωνιών, της παραγωγής τροφίμων και νερού και της κυκλοφορίας τους, της κατασκευής και της ανθρώπινης μετακίνησης.

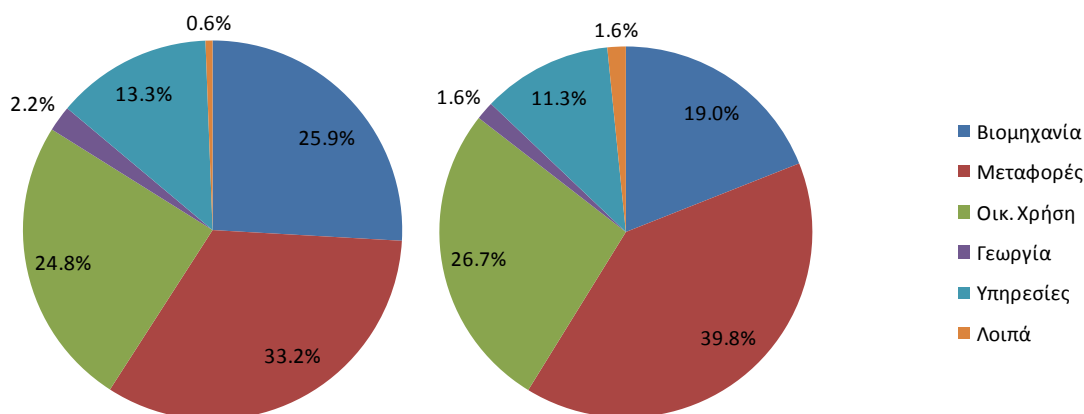
Η ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται στις ανθρώπινες δραστηριότητες, προέρχεται είτε από τη χρήση ορυκτών καυσίμων, είτε από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που παράγεται μέσω της χρήσης ακριβών και πολύπλοκων συσκευών και εγκαταστάσεων. Οι βασικοί τομείς στους οποίους χρησιμοποιείται η ενέργεια είναι η βιομηχανία, οι μεταφορές, η οικιακή χρήση, οι υπηρεσίες και η γεωργία. Στη βιομηχανία οι περισσότερες διεργασίες και μετατροπές που γίνονται είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρες, όπως είναι αυτές που περιλαμβάνουν μετασχηματισμούς σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. οι βιομηχανίες παραγωγής χυτοσιδήρου και χάλυβα) ή απαιτούν μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος, όπως η ηλεκτρόλυση για την παραγωγή αλουμινίου. Συγκεκριμένα για την Ελλάδα, η ενεργειακή ένταση (κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος) που παρουσιάζει η ελληνική βιομηχανία είναι υψηλή σε σχέση με χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που εμφανίζουν παρεμφερή βιομηχανική δομή και ανάπτυξη. Αυτό σημαίνει πως γίνεται κατανάλωση ενέργειας με χαμηλό βαθμό απόδοσης λόγω ελλιπών επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας και αυτό έχει άμεσο αποτέλεσμα το υψηλό κόστος προϊόντων.

Η ενέργεια στις μεταφορές εισέρχεται με δύο διαστάσεις:

- (α) Ως καύσιμο που χρησιμοποιείται για την κίνηση όπως η βενζίνη για τα οχήματα ή η κηροζίνη για τα αεροπλάνα και
- (β) Ως υλικό που απαιτείται να μεταφερθεί από τα σημεία παραγωγής στα σημεία κατανάλωσης για την ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών.

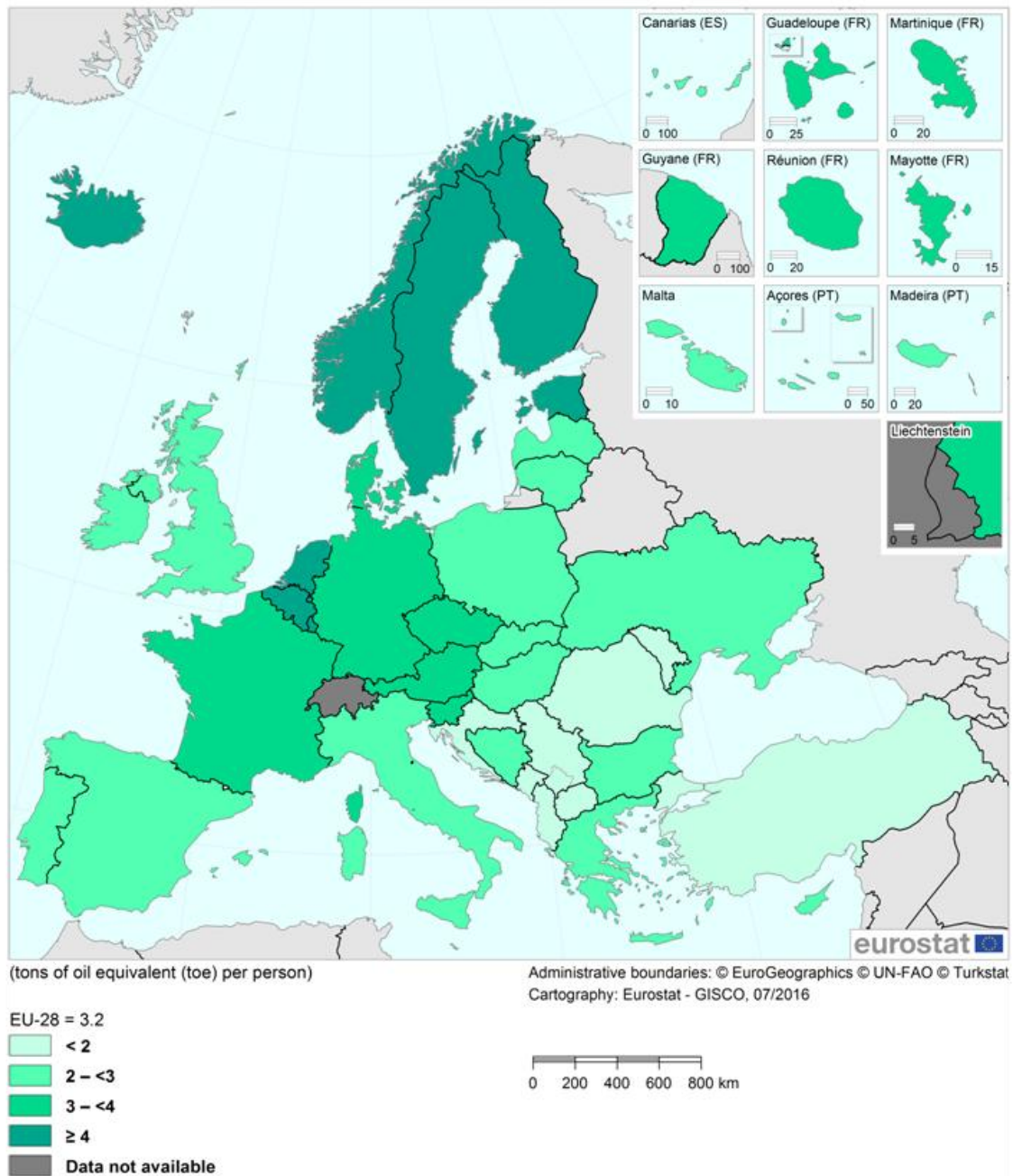
Στα σπίτια χρησιμοποιείται για φωτισμό, θέρμανση χώρων και παραγωγή ζεστού νερού καθώς και για τη λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών όπως το ψυγείο και η κουζίνα.

Η κατανομή της ενέργειας ανά τομέα δραστηριότητας παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 1) για την Ευρώπη των 28 και την Ελλάδα αντίστοιχα. Τα δεδομένα αποτελούν στοιχεία για το έτος 2015, ως ποσοστά της συνολικής κατανάλωσης.

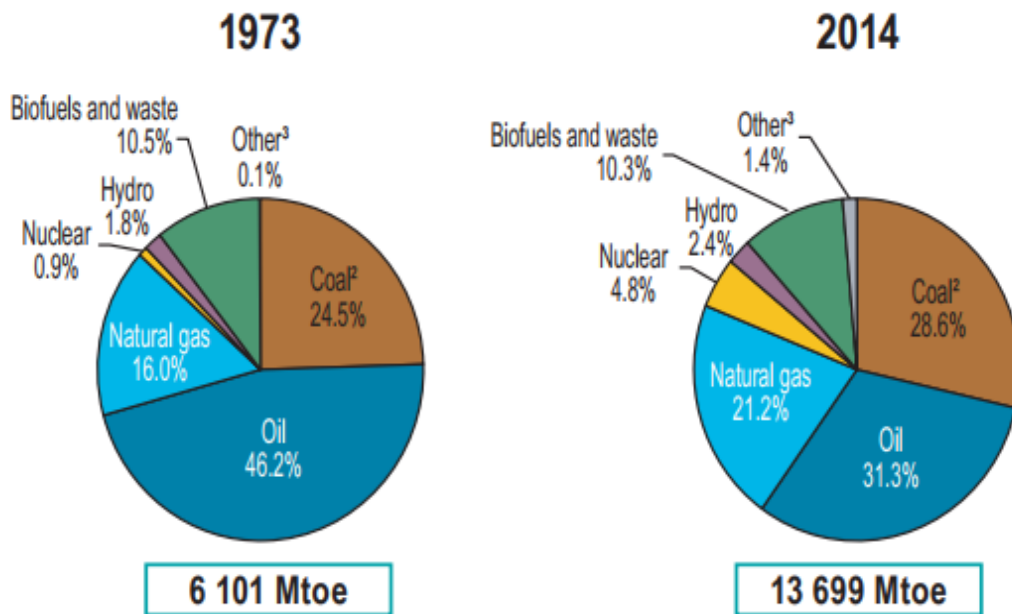


Σχήμα 1: Κατανομή ενέργειας σε διάφορους τομείς δραστηριοτήτων. ^[1]

Ακόμη σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat, η κατανάλωση ενέργειας το 2015 στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 28 χωρών (EU-28) ήταν 1627 εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου (Mtoe).^[2] Αυτό σημαίνει, βάσει του αντίστοιχου πληθυσμού ότι αντιστοιχούν περίπου 3.2 toe σε κάθε άτομο. Το ενεργειακό μίγμα σε κάθε χώρας (δηλαδή το ποσοστό με το οποίο συμμετέχουν οι διάφορες πρωτογενείς πηγές ενέργειας) διαφέρει και εξαρτάται από τους διαθέσιμους ενεργειακούς πόρους της χώρας, την δομή και το ρυθμό ανάπτυξης της οικονομίας και τις εθνικές επιλογές στα ενεργειακά συστήματα. Για παράδειγμα, το μεγαλύτερο ποσοστό των προϊόντων πετρελαίου στην ακαθάριστη κατανάλωση κάθε χώρας εμφάνισε για το έτος 2014 η Μάλτα που ανέρχεται στο 98% και η Κύπρος (93.6%).^[3] Από την άλλη, το φυσικό αέριο έχει σημαντική θέση στην Ολλανδία με ποσοστό 38%, σε αντίθεση με τη Σουηδία, τη Μάλτα και την Κύπρο που είναι μόνο 2%. Ακόμη σημαντική ενεργειακή πηγή αποτελεί για την Ιταλία, την Αγγλία, τη Λιθουανία και την Ουγγαρία με ποσοστά άνω του 30%. Για το Λουξεμβούργο, τη Φινλανδία και την Εσθονία η ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση για το 2014 ήταν 5toe κατά κεφαλήν ενώ στην Κροατία και στη Ρουμανία ήταν κάτω από 2. Η τιμή αυτή εξαρτάται από τη δομή της βιομηχανίας σε κάθε χώρα, τις καιρικές συνθήκες είτε άλλους παράγοντες όπως στην περίπτωση του Λουξεμβούργου (fuel tourism -λόγω των χαμηλών τιμών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών). Η Ελλάδα καταναλώνει περίπου 2toe κατά κεφαλήν.



Σχήμα 2: Κατά κεφαλήν ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας σε τόνους ισοδύναμου πετρελαίου στην Ευρώπη για το έτος 2014. ^[2]



Σχήμα 3: Συγκριτικός Πίνακας ποσοστών συμμετοχής καυσίμων στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας για τα έτη 1973 και 2014. ^[4]

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, γίνεται αντιληπτό ότι η κατανάλωση ενέργειας έχει υπερδιπλασιαστεί μέσα σε περίπου σαράντα χρόνια. Σχετικά με το παγκόσμιο ενεργειακό μίγμα, διαπιστώνει κανείς πως η επιρροή του πετρελαίου σταδιακά μειώνεται, αφού το 1973 συμμετείχε με ποσοστό 46.2% ενώ το 2014 περιορίστηκε στο 31.3%, διατηρώντας όμως το υψηλότερο μερίδιο έναντι των άλλων καυσίμων. Αύξηση έχει σημειωθεί στο φυσικό αέριο και τις ανανεώσιμες πηγές ενώ τα ποσοστά του άνθρακα παραμένουν σχεδόν σταθερά, εμφανίζοντας μικρή μείωση. Για τις ανανεώσιμες πηγές διαπιστώνεται πως παρά τα συνεχώς αυξανόμενα ποσοστά τους δεν έχουν καταφέρει να ξεπεράσουν τα αντίστοιχα των ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, φυσικό αέριο, πετρέλαιο).

1.2 Βασικές έννοιες της ενέργειας

1.2.1 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 κτοε, δηλαδή εμφάνισε μείωση κατά 0.8% σε σχέση με το 2014 με τη μεγαλύτερη μείωση στο φυσικό αέριο (-8.2%).^[3]

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 διωλιστήρια, κηροζίνη, βουτάνιο, ανακυκλωμένα λιπαντικά). Ακόμη, δευτερογενής πηγή ενέργειας είναι το τρίτιο και το πλουτόνιο (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.

1.2.2 Ενέργεια από Μη Ανανεώσιμες και 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 ιλύς 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.



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 αποδεσμεύουν 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.

1.2.3 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 υπάρχει 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.

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 και σκοπό έχει την 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 TransCAD επιλύθηκε το μοντέλο του φυσικού αερίου που δημιουργήθηκε, το οποίο περιλαμβάνει τους βασικούς αγωγούς μεταφοράς με τη μέθοδο ροής ελαχίστου κόστους. 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 διάθρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει ως 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 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 εύρεσης βέλτιστης διαδρομής, ενεργειακής ασφάλειας, βέλτιστης χάραξης και βελτιστοποίησης ροής αερίου στους αγωγούς.

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.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται το υφιστάμενο δίκτυο αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου στη Ευρώπη και γίνεται παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών του. Περιγράφονται τα βασικά εργαλεία της διπλωματικής, δηλαδή το ArcGIS και το TransCAD. 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η βιβλιογραφική επισκόπηση των άρθρων που μελετήθηκαν για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής. Περιλαμβάνει προηγούμενες εργασίες σχετικές με το εξεταζόμενο θέμα όπως είναι: ο σχεδιασμός βέλτιστης χάραξης, οι μέθοδοι λήψης μιας απόφασης και η επιλογή της βέλτιστης διαδρομής από διάφορες εναλλακτικές, έρευνες σχετικές με σημαντικά θέματα όπως η ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης, προβλέψεις του ενεργειακού μίγματος της Ευρώπης και έρευνες σχετικές με θέματα ισορροπίας της αγοράς που βοήθησαν την κατανόηση του μοντέλου που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής.

2.1 Επιστημονικές Δημοσιεύσεις για τη βέλτιστη χάραξη των αγωγών

Οι εργασίες που αναφέρονται σε αυτή την ενότητα εξετάζουν μεθόδους και εργαλεία για την εύρεση της ιδανικής χάραξης για κάθε αγωγό λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν το πρόβλημα. Όπως προκύπτει από αυτές, η βέλτιστη χάραξη δεν είναι πάντα η συντομότερη διαδρομή και το GIS αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για το σκοπό αυτό.

Οι Sandra C. Feldman, Ramona E. Pelletier, Ed Walser, James C. Smoot, & Douglas Ahl στην εργασία τους "A Prototype for Pipeline Routing Using Remotely Sensed Data and Geographic Information Analysis"^[6] χρησιμοποίησαν τηλεπισκοπικά δεδομένα και την ανάλυση μέσω GIS, μέσω της μεθόδου ελαχίστου κόστους για τον καθορισμό βέλτιστης διαδρομής αγωγού. Με το όρο «τηλεπισκόπηση» εννοούμε «την επιστήμη και την τεχνολογία παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση, βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία». Ως μελέτη περίπτωσης εξετάστηκε ένα τμήμα του πετρελαιαγωγού της Κασπίας. Το συνολικό μήκος του αγωγού είναι 700 χιλιόμετρα και συνδέεται με τους υφιστάμενους αγωγούς, μεταφέροντας πετρέλαιο από την περιοχή Tengiz του Καζακστάν στο Novorossoysk στη Ρωσία (Μαύρη Θάλασσα). Το μοντέλο που αναπτύχθηκε για την εύρεση της διαδρομής ελαχίστου κόστους ενσωμάτωσε στοιχεία, όπως το μήκος του αγωγού, την τοπογραφία, τη γεωλογία, τις χρήσεις γης, τα ρέματα, τους υγροτόπους, τους δρόμους καθώς και τα περάσματα σιδηροδρόμων. Οι εικόνες από την τηλεπισκόπηση μέσω δορυφόρου χρησιμοποιήθηκαν για την αποτύπωση των αποτελεσμάτων και την κάλυψη γης. Η ανάλυση GIS χρησιμοποιήθηκε για τη χωροταξική μοντελοποίηση και την ομαδοποίηση των δεδομένων. Τα λογισμικά ERDAS Imagine και ELAS χρησιμοποιήθηκαν για την τηλεπισκοπική ανάλυση, το ARC/INFO για την ψηφιοποίηση και το GRASS για την GIS ανάλυση. Τα κόστη σχετικά με τις συνθήκες εδάφους, την γεωλογία και τις χρήσεις γης υπολογίστηκαν από πραγματικά κόστη που εφαρμόστηκαν σε ένα πρόσφατο έργο του αγωγού Brechtel. Το μήκος και το κόστος μίας

ευθύγραμμης διαδρομής τεσσάρων προκαθορισμένων σημείων συγκρίθηκαν με το μήκος και το κόστος της βέλτιστης διαδρομής. Η πρώτη ήταν 42 χιλιόμετρα, ενώ η βέλτιστη 51 χιλιόμετρα. Παρά το μεγαλύτερο μήκος, η βέλτιστη διαδρομή είχε κατά 14% χαμηλότερο κατασκευαστικό κόστος απ' ό,τι η συντομότερη διαδρομή. Η εξοικονόμηση κόστους της βέλτιστης διαδρομής προέρχεται κυρίως από την αποφυγή του υψηλού κόστους αστικών και βιομηχανικών πυρήνων. Τα αποτελέσματα της έρευνας καταδεικνύουν τα οφέλη από ανάλυση μέσω του συνδυασμού της τηλεπισκοπικής και GIS προσέγγισης, για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής για τη χάραξη αγωγών.

Η εργασία των Mahmoud Reza Delavar και Fereydoon Naghibi με θέμα "Pipeline Routing Using Geospatial Information System Analysis"^[7] χρησιμοποιώντας διάφορα δεδομένα και την ανάλυση GIS καθόρισε την διαδρομή ελαχίστου κόστους. Ο αγωγός πετρελαίου Ahvaz-Marun νοτιοδυτικά του Ιράν ήταν ο υπό εξέταση αγωγός. Πρόκειται για αγωγό 34 χιλιομέτρων και μεταφέρει αέριο αιθανίου από την εταιρεία MPC στο Ahvaz. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε ενσωματώνει το μήκος του αγωγού, την τοπογραφία, τη γεωλογία, τις χρήσεις γης, τους υδροτόπους, τους δρόμους και τους υφιστάμενους σιδηρόδρομους. Η ανάλυση μέσω GIS χρησιμοποιήθηκε για το χωροταξικό σχεδιασμό. Τα κόστη που σχετίζονται με τις συνθήκες εδάφους, τη γεωλογία και τις χρήσεις γης δόθηκαν από πραγματικά στοιχεία, υπολογισμένα από την Ιρανική Εθνική Εταιρεία Πετρελαίου. Το μήκος και τα κόστη του υφιστάμενου αγωγού που προέκυψαν με συμβατικούς τρόπους υπολογισμού συγκρίθηκαν με εκείνα που προέκυψαν μέσω της ανάλυσης GIS. Το αποτέλεσμα ήταν ότι η βέλτιστη διαδρομή ήταν κατά ένα χιλιόμετρο αυξημένη. Έτσι, διαπιστώνει κανείς ότι παρά την αύξηση του μήκους, η βέλτιστη διαδρομή έχει μικρότερο κόστος και συγκεκριμένα κατά ποσοστό 29%. Η διαφορά αυτή κατά κύριο λόγο οφείλεται στο μεγαλύτερο κόστος λόγω αστικών, οδικών και ποτάμιων πυρήνων. Το κύριο συμπέρασμα της μελέτης είναι ότι καταδεικνύονται τα οφέλη ενσωμάτωσης δεδομένων σε περιβάλλον GIS, το οποίο δύναται να λειτουργήσει ως σύστημα υποστήριξης αποφάσεων χωροταξικής τοποθέτησης αγωγών.

Η εργασία των Maheen Iqbal, Farha Sattar και Muhammad Nawaz με θέμα "Planning a Least Cost Gas Pipeline Route: A GIS & SDSS Integration Approach"^[8] εξετάζει ένα αυτοματοποιημένο σύστημα επιλογής της διαδρομής ελαχίστου κόστους για αγωγούς φυσικού αερίου. Ο βέλτιστος σχεδιασμός διαδρομών σε βραχώδη εδάφη δεν μπορεί να στηριχτεί στη συντομότερη διαδρομή, αφού οι ανωμαλίες του εδάφους και οι επιτρεπόμενες κλίσεις δημιουργούν πρόσθετους περιορισμούς. Έτσι, τέτοιου είδους βελτιστοποίηση απαιτεί ιδιαίτερες επιστημονικές προσεγγίσεις και την ικανοποίηση πολλαπλών κριτηρίων. Γραμμικά στοιχεία όπως δρόμοι, σιδηρόδρομοι και ποταμοί μπορούν να θεωρηθούν ως σημαντικά εμπόδια για το σχεδιασμό ενός αγωγού. Η ανακατάταξη των σχετικών κριτηρίων έχει αντικατασταθεί στη συγκεκριμένη έρευνα με την ανάθεση τιμών σε κάθε εμπόδιο χρησιμοποιώντας το σύστημα DSS (Decision Support System) για τη διαμόρφωση απλών, σύντομων και προσανατολισμένων στο αποτέλεσμα συστημάτων. Η μέθοδος της σταθμισμένης κατάταξης χρησιμοποιήθηκε για την εκχώρηση

βαρύτητας ανάλογα με την ιεράρχηση προτεραιοτήτων. Για παράδειγμα, το κόστος για ποτάμι ορίστηκε ίσο με 4, ενώ το αντίστοιχο για δρόμο ίσο με 1. Η ανάλυση μέσω GIS ενσωματώνει τη σταθμισμένη συνάρτηση κόστους που βασίζεται στη σταθμισμένη βάση κόστους απόσταση και ράστερ (οργάνωση εσωτερικών στοιχείων στο GIS), τα οποία είναι ενσωματωμένα στη συνάρτηση ελάχιστης διαδρομής. Οι τοπογραφικές ανωμαλίες σε βραχώδη εδάφη απαιτούν αξιολόγηση βάσει κριτηρίων. Επομένως, τα δεδομένα κλίσης έχουν ενισχυθεί και ενσωματωθεί στο ράστερ κόστους χωρίς κάποια ιεράρχηση στη μέθοδο κριτηρίων κατάταξης. Ως μελέτη περίπτωσης εξετάστηκε η περιοχή Hattar, Haripur και Murree, Rawalpindi, ως σημείο αρχής και τέλους αντίστοιχα. Αποτέλεσμα της μελέτης ήταν η δημιουργία πρότυπης ανάπτυξης βέλτιστου σχεδιασμού διαδρομής.

Η διαδικτυακή εφαρμογή A.NET, που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας των Berry, King και Lopez,^[9] για την τοποθέτηση αγωγών, ενσωματώνει ένα μοντέλο δρομολόγησης για τη δημιουργία εναλλακτικών διαδρομών και ταυτόχρονα χρησιμοποιεί υδραυλικά και οικονομικά μοντέλα καθώς και μοντέλα κόστους για την αξιολόγηση και επιλογή της βέλτιστης διαδρομής. Το μοντέλο δρομολόγησης αναγνωρίζει την περιοχή μελέτης, τα σημεία αρχής και τέλους του αγωγού και εν συνεχεία γίνεται η εισαγωγή του ενός εκ των τριών μοντέλων, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα στοιχείων και την ανάλυση εύρεσης βέλτιστης διαδρομής και του αντίστοιχου διαδρόμου, που εμπεριέχει τις βέλτιστες νιοστές διαδρομές. Ο βέλτιστος διάδρομος είναι χρήσιμος για τον προσδιορισμό των ορίων για τη λεπτομερή συλλογή στοιχείων, όπως η υψηλή ανάλυση αεροφωτογραφιών και τα έγγραφα ιδιοκτησίας. Η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του μοντέλου βέλτιστης διαδρομής (ArcGIS) περιλαμβάνει κριτήρια επιλογής, βαθμονόμηση χαρτών και στάθμιση. Χρησιμοποιείται η μέθοδος της διαδρομής ελαχίστου κόστους (Least Cost Path-LCP), μέσω της οποίας καθορίζεται η βέλτιστη διαδρομή γραμμικών στοιχείων και εφαρμόζεται στο GIS, χρησιμοποιώντας στοιχεία κανάβου. Η διαδικασία αξιολόγησης και επιλογής διαδρομής επεκτείνεται μέσω ενός ενσωματωμένου υδραυλικού μοντέλου (Excel) για την βέλτιστη επιλογή της διαμέτρου του αγωγού, των σταθμών συμπίεσης και τα λοιπά μηχανικά στοιχεία. Ακόμη, μέσω ενός μοντέλου κόστους (Excel) εκτιμάται το κατασκευαστικό κόστος λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία από το GIS και από δεδομένα εισαγωγής που ορίζονται από το χρήστη ενώ παράλληλα ένα οικονομικό μοντέλο προσομοίωσης (Excel) χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου. Τα στοιχεία που μελετήθηκαν στις τέσσερις κύριες πτυχές ανάπτυξης του ερευνητικού σχεδίου ήταν το μοντέλο δρομολόγησης, η ανάπτυξη της βάσης δεδομένων, το μοντέλο ενσωμάτωσης και η δικτυακή του ανάπτυξη.

2.2 Επιστημονικές Δημοσιεύσεις για την επιλογή βέλτιστης διαδρομής

Πολλές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής όπως η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (AHP), η πολυκριτηριακή θεωρία χρησιμότητας (MAUT), η VDA (Verbal Decision Analysis) και τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS).

Αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα και είναι ακόμη πιο δύσκολο όταν γίνεται λόγος για διηπειρωτικούς αγωγούς που είναι μεγαλύτεροι και πιο πολύπλοκοι.

Στο συγκεκριμένο άρθρο των Mujgan S. Ozdemir, & Thomas L. Saaty με τίτλο "The unknown in decision making: What to do about it"^[10] αναλύεται η επίδραση του αγνώστου για να μπορέσει κανείς να διαχειριστεί την αβεβαιότητα στη λήψη μιας απόφασης. Άγνωστο είναι όλοι εκείνοι οι παράγοντες που αόριστα μας δίνουν την υποψία ότι επηρεάζουν μία απόφαση-ένα αποτέλεσμα, πολλές φορές μη γνωρίζοντας ακριβώς τον τρόπο επιρροής τους στο εξαγόμενο αποτέλεσμα. Ο τρόπος αντιμετώπισης αυτού, θα μπορούσε να είναι η ενσωμάτωση του αγνώστου στους λοιπούς παράγοντες επιρροής και στη συνέχεια να γίνει ιεράρχηση όλων αυτών. Αυτό γίνεται εφόσον είμαστε βέβαιοι για ότι γνωρίζουμε και για οτιδήποτε μένει εκτός αυτών που μπορούμε να αντιληφθούμε και μπορεί να έχει επίδραση στο εξεταζόμενο πρόβλημα. Σε αυτό βασικό ρόλο διαδραματίζουν οι εμπειρίες παλαιών αντίστοιχων προβλημάτων που αντιμετωπίστηκαν με επιτυχία. Ακολουθώντας εκτελώντας αναλύσεις ευαισθησίας γίνεται κατανοητό τί επιρροή έχουν οι άγνωστες παράμετροι. Οι συγκρίσεις ανά ζεύγη μπορούν να δώσουν απλά και ξεκάθαρα αποτελέσματα. Στο συγκεκριμένο άρθρο εξηγείται πως γίνεται η ιεράρχηση και ο έλεγχος τόσο των άγνωστων όσο και των γνωστών παραμέτρων σε διάφορα είδη προβλημάτων, όπως την επιλογή βέλτιστης διαδρομής ενός αγωγού.

Στο άρθρο των Ye. Andreyeva , O. I. Larichev , N. E. Flanders και R. V. Brown με τίτλο "Complexity and uncertainty in arctic resource decisions: The example of the Yamal pipeline"^[11] περιγράφεται πως ένας ποιοτικός τρόπος ανάλυσης, ο οποίος αναπτύχθηκε από ειδικούς Ρώσους επιστήμονες, χρησιμοποιήθηκε για να βοηθήσει τους ρώσικους κυβερνητικούς οργανισμούς να αποφασίσουν μεταξύ δύο εναλλακτικών διαδρομών για τον αγωγό Yamal. Η μία διαδρομή περνούσε διαμέσου της χερσαίας περιοχής της χερσονήσου, ενώ η δεύτερη δια θαλάσσης. Η περιπλοκότητα μειώθηκε και η αβεβαιότητα εκφράστηκε μέσω κόστους, με την ανάπτυξη των δύο διαφορετικών επιλογών. Ως βασικά κριτήρια απόφασης ορίστηκαν το μήκος της διαδρομής, οι συνθήκες κατασκευής, η διαθέσιμη τεχνολογία και η γνώση των ειδικών, το κατασκευαστικό κόστος, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ο κίνδυνος πιθανών αστοχιών και οι επιπτώσεις τους καθώς και ο εκτιμώμενος χρόνος επισκευής του αγωγού σε περίπτωση ατυχήματος. Στην έρευνα αυτή παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο μία δομημένη ανάλυση χρησιμοποιήθηκε για την απόφαση και την αξιολόγηση αυτής της επιλογής. Βασικό συμπέρασμα είναι ότι οι αποφάσεις για τα κοιτάσματα της Αρκτικής μπορούν να αναδιαρθρωθούν για τη διευκόλυνση του εμπορίου και για να γίνει αυτό πιο κατανοητό ενδεχομένως στο ευρύ κοινό.

Η έρευνα των Oleg I. Larichev, & Rex V. Brown με θέμα "Numerical and Verbal Decision Analysis: Comparison on Practical Cases"^[12] εξετάζει τα εργαλεία μεθοδολογιών ανάλυσης αποφάσεων (Decision Analysis). Έχει αποδειχθεί ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί συγκεκριμένος και καθολικός τρόπος αντιμετώπισης προβλημάτων. Ανά τον κόσμο παρόμοια προβλήματα επιλύονται από τους ειδικούς μέσω ποικίλων προσεγγίσεων. Η αριθμητική ανάλυση αποφάσεων (NDA) αποτελεί μία γνωστή και εδραιωμένη

μεθοδολογία, ενώ η VDA (Verbal Decision Analysis), που προσανατολίζεται σε λιγότερο δομημένα προβλήματα, αποτελεί μια νέα κατεύθυνση της θεωρίας και των πρακτικών των αποφάσεων. Στη συγκεκριμένη έρευνα, οι δύο αυτές μέθοδοι εφαρμόστηκαν και συγκρίθηκαν σε πραγματικά προβλήματα, αναλύοντας τα δυνατά και αδύναμα σημεία της κάθε μίας. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε το θέμα της μεταφοράς πετρελαίου και αερίου και έγινε προσπάθεια να αναλυθούν τα θέματα που καλούνται η ρωσική και αμερικάνικη κυβέρνηση να αντιμετωπίσουν, με τον αγωγό Yamal και του Niakuk αντίστοιχα. Ενώ η συνηθισμένη πρακτική είναι η χρήση των εργαλείων σε πραγματικά προβλήματα, εδώ χρησιμοποιήθηκε η αντίθετη διαδικασία. Δηλαδή, η μελέτη των εφαρμοζόμενων εργαλείων για τον σχηματισμό νέων προβλημάτων προς έρευνα. Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν πλεονεκτήματα και δίνονται στους συμβούλους πρόσθετα στοιχεία για το πώς τα διάφορα εργαλεία μεθοδολογικής προσέγγισης σχετίζονται με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των προβλημάτων λήψης αποφάσεων.

Η διαδρομή των διηπειρωτικών αγωγών φυσικού αερίου χαρακτηρίζεται από υψηλή πολυπλοκότητα λόγω του μεγάλου μεγέθους της. Για το λόγο αυτό, απαιτείται καλύτερη διαχείριση των πληροφοριών του προβλήματος καθώς υπεισέρχονται νέες παράμετροι. Στόχος της εργασίας του Fotios Thomaidis με θέμα "Method for Route Selection of Transcontinental Natural Gas Pipelines"^[13] είναι η ανάπτυξη μεθοδολογίας επιλογής βέλτιστης διαδρομής, που θα μπορεί να διαχειριστεί όλη αυτή την πολυπλοκότητα. Ο αλγόριθμος που αναπτύσσεται στη συγκεκριμένη εργασία περιλαμβάνει τρεις φάσεις: την ανάλυση της αγοράς και της ζήτησης του φυσικού αερίου, την ανάλυση και αξιολόγηση των εναλλακτικών διαδρομών και την τελική επιλογή των εναλλακτικών διαδρομών. Η δεύτερη φάση υλοποιείται μέσω της μεθόδου AHP, χρησιμοποιώντας ως κριτήρια του κινδύνους, τα κόστη και τις ενδιάμεσες αγορές. Εξετάζεται η εγκυρότητα των συνθηκών οικονομικής βιωσιμότητας του αγωγού, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, την εμπειρία και την γνώση των ειδικών. Η συνοχή και η ευαισθησία των αποτελεσμάτων ελέγχεται. Η μέθοδος εφαρμόζεται στην περίπτωση του διηπειρωτικού αγωγού φυσικού αερίου από την ευρύτερη περιοχή της Κασπίας στην Δυτική Ευρώπη. Διαφορετικά σενάρια αναπτύχθηκαν και εξετάστηκαν τα αποτελέσματά τους. Ως εργαλείο χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Gas-PRS, το οποίο επιτρέπει την γρήγορη εφαρμογή της μεθόδου και διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων, εξετάζοντας τις συνέπειες των διαφορετικών επιλογών.

Η ανάπτυξη του Νότιου Διαδρόμου ενέργειας στην Ευρώπη, που θα μεταφέρει τα αποθέματα φυσικού αερίου από την Κασπία και τη Μέση Ανατολή στοχεύουν στην αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας. Στην εργασία των Fotios Thomaidis και Dimitrios Maurakis με τίτλο "Optimum Route of the South Transcontinental Gas Pipeline in SE Europe using AHP"^[14] εξετάζεται η επιλογή βέλτιστης διαδρομής για διηπειρωτικούς αγωγούς φυσικού αερίου με τη χρήση της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας (AHP), λαμβάνοντας υπόψη γεωπολιτικά, οικονομικά και τεχνολογικά κριτήρια. Η μέθοδος εφαρμόστηκε για τον έλεγχο τεσσάρων εναλλακτικών διαδρομών στην νοτιοανατολική Ευρώπη, δύο στην Τουρκία και δύο στη Βόρεια Ελλάδα, προσδιορίζοντας τη βέλτιστη διαδρομή για τη μεταφορά του

αερίου της Κασπίας στην Αυστρία και την Ιταλία. Τα βήματα της AHP είναι ο καθαρισμός της ιεραρχικής δομής, ο καθορισμός της βαρύτητας των κριτηρίων σε κάθε ιεραρχικό επίπεδο και η δημιουργία πινάκων. Οι εναλλακτικές διαδρομές των αγωγών αξιολογήθηκαν με κριτήρια την πολιτική και οικονομική σταθερότητα των χωρών διαμετακόμισης, την υπάρχουσα νομοθεσία για το φυσικό αέριο, το κόστος μεταφοράς και τα τέλη διέλευσης, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, την πιθανή χρήση υφιστάμενων υποδομών φυσικού αερίου και τις προοπτικές ανάπτυξης των χωρών υποδοχής φυσικού αερίου.

Στην εργασία του Prasanta Kumar Dey με τίτλο "An Integrated Assessment Model for Cross-country Pipelines"^[15] αναφέρεται ότι οι αγωγοί πετρελαίου που διασχίζουν διάφορες χώρες περνούν μέσα από περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές όπως δάση, ποτάμια, κατοικημένες περιοχές, ερήμους, λόφους και θάλασσες. Οποιαδήποτε μη σωστή λειτουργία μπορεί να επιφέρει καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον. Για το λόγο αυτό, όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς στο σχεδιασμό και την κατασκευή του έργου δίνουν έμφαση στις κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, υιοθετώντας τεχνολογικά εναλλακτικές λύσεις. Παραδοσιακά, στην αξιολόγηση του έργου, οι εναλλακτικές ελέγχονται βάσει οικονομικής ανάλυσης. Η αξιολόγηση επιπτώσεων (IA-Impact Assessments) γίνεται ακολούθως για την επιβεβαίωση της παραπάνω επιλογής και την κρατική έγκριση. Όμως, πολλές φορές μέσω των αξιολογήσεων-επιπτώσεων προτείνονται εναλλακτικές (εναλλακτική διαδρομή, χρήση άλλης τεχνολογίας κλπ) οδηγώντας στην ολική αναθεώρηση της τεχνικής και οικονομικής ανάλυσης του έργου. Στη συγκεκριμένη έρευνα το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την ανάπτυξη ταυτόχρονα της τεχνικής (TA), περιβαλλοντικής (EIA) και κοινωνικοοικονομικής (SEIA) ανάλυσης του έργου χρησιμοποιώντας την AHP, ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων. Ακολούθως, η οικονομική ανάλυση επιβεβαιώνει την επιλογή. Ολόκληρη η μεθοδολογία εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας ως μελέτη περίπτωσης ένα έργο πετρελαιοαγωγού στην Ινδία.

Η επιλογή της διαδρομής που θα ακολουθήσει ένας αγωγός πετρελαίου έχει καθοριστικό ρόλο στην ανάλυση σκοπιμότητας τέτοιων έργων, καθώς όλες οι τεχνικές παράμετροι του αγωγού εξαρτώνται από το μήκος και την υδραυλική κλίση του εδάφους που διασχίζουν. Στη συγκεκριμένη ανάλυση με τίτλο "Feasibility Analysis of Cross –country Petroleum Pipeline Projects: A Quantitative Approach" των Prasanta Kumar Dey και Soumitra Shankar Gurta^[16] εντοπίζεται η συντομότερη διαδρομή μέσω μελέτης αναγνώρισης των βασικών παραγόντων όπως η δυνατότητα κατασκευής και η προσβασιμότητα, έχοντας ταυτόχρονα τις μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ακολούθως, εντοπίζονται εναλλακτικά τεχνικά σενάρια όπως εναλλακτική παροχή, η διάμετρος των αγωγών και ο αριθμός των σταθμών συμπίεσης. Η επιλογή του βέλτιστου σεναρίου γίνεται με την οικονομική ανάλυση, που πολλές φορές δεν έχει σαν αποτέλεσμα τη συντομότερη διαδρομή. Στο συγκεκριμένο άρθρο γίνεται ανάλυση επιλογής της βέλτιστης διαδρομής, λαμβάνοντας υπόψη τους αυστηρούς κυβερνητικούς περιορισμούς, τη δυνατότητα επέκτασης του έργου και την πιθανότητα αστοχίας του αγωγού, μαζί με λοιπούς παράγοντες. Όλοι αυτοί οι παράγοντες

αναλύονται ποσοτικά, λαμβάνοντας υπόψη τις εναλλακτικές μέσω της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας (AHP-Analytic Hierarchy Process). Όλο αυτό το σύστημα εφαρμόζεται για έναν αγωγό πετρελαίου στην Ινδία. Η μελέτη κόστους-ωφέλειας (cost benefit analysis) εφαρμόζεται στη συντομότερη διαδρομή, η οποία επιλέγεται συνήθως και την βέλτιστη διαδρομή, καταδεικνύοντας έτσι τα οφέλη του μοντέλου.

2.3 Επιστημονικές Δημοσιεύσεις για τη βελτιστοποίηση της ροής των αγωγών αερίου

Εκτός από την εύρεση της βέλτιστης χάραξης και την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής μεταξύ εναλλακτικών επιλογών, για τη βέλτιστη λειτουργία των αγωγών είναι σημαντικό να βελτιστοποιηθεί και η ροή εντός αυτών. Διάφορες μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό και κυρίως στηρίζονται στις τεχνικές του δυναμικού προγραμματισμού, αφού πρόκειται για ένα μη γραμμικό πρόβλημα. Βέβαια έχουν γίνει και άλλες έρευνες που προσεγγίζουν το πρόβλημα με διαφορετικό τρόπο, όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

Στο άρθρο "Optimization of natural gas pipeline transportation using ant colony optimization" των A. Chebouba, F. Yalaoui, A. Smati, L. Amodeo, K. Younsi και A. Tairi ^[17] προτείνεται η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου βελτιστοποίησης (Ant Colony Optimization) για αγωγό φυσικού αερίου στρωτής ροής. Ο αλγόριθμος αυτός έχει επηρεαστεί από την συμπεριφορά των μυρμηγκιών όταν αναζητούν τη βέλτιστη διαδρομή μεταξύ της αποικίας τους και της πηγής τροφής τους και έχει εφαρμογή σε πολλά προβλήματα μηχανικών. Αποτελεί την πρώτη έρευνα που έχει χρησιμοποιηθεί για GPFCMP, δηλαδή για πρόβλημα ελαχιστοποίησης κατανάλωσης καυσίμου σε αγωγό φυσικού αερίου. Οι μεταβλητές απόφασης που έχουν επιλεγεί είναι ο αριθμός των στροβιλοσυμπιεστών και η πίεση εκκένωσης για κάθε σταθμό συμπίεσης. Η αντικειμενική συνάρτηση που καλείται να βελτιστοποιηθεί είναι η κατανάλωση ενέργειας από τους σταθμούς στο εξεταζόμενο σύστημα. Έως σήμερα τέτοια προβλήματα επιλύονται μέσω δυναμικού προγραμματισμού. Η μέθοδος εφαρμόστηκε σε πραγματικά προβλήματα και συγκεκριμένο στον αγωγό "Hassi R'mell-Arzew" του δικτύου της Αλγερίας. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα του δυναμικού προγραμματισμού και διαπιστώθηκε ότι αποτελεί έναν ενδιαφέροντα τρόπο προσέγγισης του προβλήματος.

2.4 Επιστημονικές Δημοσιεύσεις ως εργαλεία ενημέρωσης και σχετικές με την ενεργειακή ασφάλεια

Οι αγωγοί φυσικού αερίου επηρεάζονται ταυτόχρονα από τους περιορισμούς βελτιστοποίησης και τις γεωπολιτικές συνθήκες των χωρών που διασχίζουν. Επιπλέον, οι επιλογές για την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας έχουν θέσει και αυτές περιορισμούς και καθορίζουν όλες τις μελλοντικές ενέργειες για τους αγωγούς φυσικού αερίου.

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"^[18]

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."^[19] 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:

- 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.
- Το δίκτυο της Ευρώπης έχει ευελιξία και σωστή λειτουργία ακόμη και σε συνθήκες κρύου, αλλά με υψηλή χρήση της χωρητικής ικανότητας σε μερικές διασυνδέσεις.
- 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.
- Η ανατολική Ευρώπη είναι επιρρεπής στην προμήθεια αερίου από Ρωσία και σε ότι αλλαγές αυτή έχει.
- Οι interconnectors είναι ιδιαίτερα σημαντικοί τόσο για την ασφάλεια την μεταφοράς όσο και για τον ανταγωνισμό των καυσίμων στην αγορά αερίου.
- Οι Zeebrügge 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"^[20] 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 Offenbergr με τίτλο " The European neighborhood and the EU's security of supply with natural gas"^[21] 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 ΙΕΑ, 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.

2.5 Επιστημονικές Δημοσιεύσεις για το μέλλον του φυσικού αερίου

Είναι πολύ σημαντικό για τη χάραξη των ενεργειακών πολιτικών, οι αρμόδιοι φορείς να γνωρίζουν ποιά θα είναι η πορεία του φυσικού αερίου και των υπόλοιπων καυσίμων. Με τον τρόπο αυτό γίνεται κατανοητό με ποιό τρόπο θα λειτουργήσουν μελλοντικά οι αγορές και θα μπορέσουν να λάβουν τις σωστότερες αποφάσεις. Η παράγραφοι που ακολουθούν εστιάζουν ακριβώς σε αυτό το θέμα.

Υπάρχουν κάποια μοντέλα για την πραγματοποίηση των προβλέψεων του παγκοσμίου φυσικού αερίου, που βελτιστοποιούν τα συνολικά κόστη μεταφοράς: το Global Gas Model (GGM) που αναπτύχθηκε από τον Wood MacKenzie, το WGM (World Gas Model)) που αναπτύχθηκε από το University of Maryland and το DIW, World Gas Model (WGM) που αναπτύχθηκε από τον NEXANT και το World Gas Trade Model που αναπτύχθηκε από το Rice University.^[22]

Η έρευνα των Mitrova, T., Boersma, T. και Galkina, A. ^[22] εξετάζει διάφορα σενάρια για να διαπιστωθεί το μελλοντικό μερίδιο στο Ευρωπαϊκό ενεργειακό μίγμα που θα έχει στο μέλλον η Ρωσία. Τα σενάρια υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας το μοντέλο NEXANT WGM (World Gas Model), ενσωματωμένο στο ERIRAS Modeling Information Complex SCANNER. Οι

υπολογισμοί βασίστηκαν στην πρόβλεψη της ζήτησης και της εν δυνάμει παραγωγής σε κάθε χώρα για το 2040. Το μοντέλο περιέχει χιλιάδες διαδρομές LNG και αγωγών, έχοντας και τα αντίστοιχα κόστη μεταφοράς. Στόχος είναι η μεταφορά των βέλτιστων ποσοτήτων του αερίου σε κάθε διαδρομή. Αναλύθηκαν τέσσερα σενάρια:

- το σενάριο αναφοράς (θεωρώντας όχι σημαντικές αλλαγές στους αγωγούς της Ρωσίας)
- ένα σενάριο χωρίς επέκταση των συμβολαίων με τη Ρωσία (που αντικατοπτρίζει την επιθυμία για την παύση του εμπορίου με τη Ρωσία για το αέριο)
- ένα σενάριο χωρίς την κατασκευή του Turkish Stream (πρόταση της Gazprom ως εναλλακτική για την ακύρωση του South Stream) και τέλος
- ένα σενάριο χωρίς τη διέλευση από την Ουκρανία (μία φιλοδοξία των ρώσικων αρχών που λέγεται ότι θα εφαρμοστεί το 2019).

Ακολούθως αναλύονται οι εναλλακτικές του Ρώσικου αερίου. Η έρευνα καταλήγει στο ότι μικρές αλλαγές θα επέλθουν στο ενεργειακό μίγμα και ότι εάν δε ληφθούν δραστικά πολιτικά μέτρα το αέριο από τη Ρωσία θα έχει και στο μέλλον κυρίαρχο ρόλο. Φυσικά υπάρχουν αρκετές σημαντικές παρατηρήσεις που αξίζουν μεγαλύτερη προσοχή από τους φορείς χάραξης πολιτικής, ιδίως στην Ευρώπη και κυρίως βραχυπρόθεσμα, η έλλειψη ενσωμάτωσης της αγοράς στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη εξακολουθεί να αποτελεί κίνδυνο από την άποψη της ενεργειακής ασφάλειας της Ευρώπης, όπως φαίνεται έντονα στο σενάριο που η Ουκρανία δεν λειτουργεί πλέον ως χώρα διαμετακόμισης για το Ρώσικο φυσικό αέριο. Η ανάλυση επιβεβαιώνει ότι το ρωσικό φυσικό αέριο θα είναι πολύ ανταγωνιστικό μέχρι το 2030, και μετά από αυτό οι ρωσικές εταιρείες θα χάσουν ένα μέρος του μεριδίου τους στην αγορά, το οποίο θα σταθεροποιηθεί στη συνέχεια περίπου στα 130bcm. Το μερίδιο του LNG αυξάνεται σημαντικά στο ευρωπαϊκό ενεργειακό μίγμα. Στο μέλλον το μη συμβατικό αέριο (shale gas) θα έχει κάποιο ρόλο, όπως και ο Νότιος Διάδρομος ως εναλλακτική διαδρομή. Τέλος, φυσικό αέριο από το Αζερμπαϊτζάν στις ευρωπαϊκές αγορές έχει δυνατότητα περαιτέρω αύξησης, και στην αγορά μακροπρόθεσμα θα έρθουν επιπλέον 20bcm από το Ιράκ και το Ιράν ενισχύοντας έτσι το Νότιο Διάδρομο.

Η μείωση των αποθεμάτων φυσικού αερίου σε κάποιες περιοχές του κόσμου, η αυξανόμενη ζήτηση στις περιοχές που αποτελούν τους μεγαλύτερους καταναλωτές αερίου καθώς και η δημιουργία νέων σημείων κατανάλωσης, όπως και η παγκοσμιοποίηση των αγορών λόγω του LNG έχουν μεταβάλει την κατάσταση τώρα και για τις επόμενες δεκαετίες. Στην έρευνα των Lochner και Bothe με τίτλο " The development of natural gas supply costs to Europe, the United States and Japan in a globalizing gas market—Model-based analysis until 2030"^[23] εφαρμόστηκε ένα μοντέλο της παγκόσμιας αγοράς φυσικού αερίου, το MAGELAN, που αποτελεί επέκταση του ευρωπαϊκού μοντέλου EUGAS για τη δημιουργία πρόβλεψης της προσφοράς του αερίου το 2030 και τον καθορισμό του μακροπροθέσου μέσου κόστους του αερίου που προορίζεται στους τρεις κύριους καταναλωτές, την Ευρώπη, την Αμερική και την Ιαπωνία. Τα αποτελέσματα για τους τρεις καταναλωτές συγκρίθηκαν και αναλύθηκαν εστιάζοντας στο κόστος, τη διαφοροποίηση των προμηθευτών και τον ρόλο του LNG.

Διαπιστώθηκε πως ενώ οι εισαγωγές στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία θα είναι λιγότερο διαφοροποιημένες σε διεθνές επίπεδο, το αέριο μπορεί να εισάγεται σε σχετικά χαμηλές τιμές λόγω της γεωγραφικής τους τοποθεσίας, η οποία είναι επιθυμητή λόγω της εγγύτητας των μεγάλων παραγωγών. Η δομή της αμερικάνικης προσφοράς αερίου θα αλλάξει σημαντικά στο μέλλον, λόγω της εξάρτησης από εισαγωγές LNG που θα αυξήσουν το κόστος. Ταυτόχρονα όμως θα αυξήσουν τη διαφοροποίηση των προμηθευτών. Το LNG θα εξακολουθήσει να είναι θα αποτελεί ένα ποσοστό στις τρεις βασικές περιοχές κατανάλωσης έως το 2030. Συνοπτικά δηλαδή προκύπτει ότι:

- Η εξάρτηση των εισαγωγών τη Ευρώπης και της Αμερικής θα αυξηθεί σημαντικά παρά την επίπτωση του διαφορετικού κόστους των παραγωγών.
- Η Ευρώπη λόγω του ότι βρίσκεται κοντά στις βασικές πηγές αερίου θα λαμβάνει μέσω αγωγών το αέριο σε τιμή σε σχετικά μέσα κόστη. Το μερίδιο του LNG θα μειωθεί. Το 2030 το αέριο θα εισάγεται από τους 8 βασικούς μη Ευρωπαϊκούς προμηθευτές. Η Ρωσία, η οποία δίνει στην Ευρώπη πάνω από 320bcm θα παραμείνει ο μεγαλύτερος προμηθευτής της.
- Για την ικανοποίηση της ζήτησης της Αμερικής, πρέπει να αξιοποιηθούν πιο απομακρυσμένες πηγές Φ.Α. Βέβαια τα κόστη θα αυξηθούν σημαντικά, ενώ η διαφοροποίηση των παραγωγών θα είναι μεγαλύτερη από την Ευρώπη. Ο αριθμός των προμηθευτών της θα φτάσει τους 14, με το μεγαλύτερο, τον Καναδά , να έχει ποσοστό 23%.
- Η Ιαπωνία, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εισαγωγές, θα συνεχίσει να κάνει το ίδιο στο μέλλον. Όμως με τη μείωση του κόστους της τεχνολογίας LNG και την εγγύτητά της στους παραγωγούς τα κόστη της θα παραμείνουν μεσαίου ύψους και σε παρόμοιο επίπεδο με της Ευρώπης.

2.6 Επιστημονικές Δημοσιεύσεις σχετικές με την ισορροπία της αγοράς

Στα προβλήματα των αγωγών υπεισέρχεται έντονα η έννοια της αγοράς, όπως και σε όλα τα προβλήματα τέτοιου είδους. Αυτό το θέμα εξετάζουν οι επόμενες εργασίες.

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 Lefebber 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"^[24] 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.

Στην εργασία των Friesz, T., Tobin, R., Smith, T. και Harker, P. με τίτλο "A nonlinear complementarity formulation and solution procedure for the general derived demand network equilibrium problem"^[25] διερευνάται λεπτομερώς η ύπαρξη, η μοναδικότητα και ο υπολογισμός της ισορροπίας των χωρικά διαχωρισμένων αγορών των οποίων η πλεονασματική ζήτηση και προσφορά δημιουργεί ανάγκες μεταφοράς, χωρίς την άμεση δήλωση της συνάρτησης ζήτησης προέλευσης-προορισμού. Εξωτερικές συμφορήσεις και η διαμόρφωση του δικτύου συνδέονται με τα ελαστικά χαρακτηριστικά της παραγωγής και κατανάλωσης των ατομικών αγορών για την πρόβλεψη των επιπέδων ροής των μεταφορών. Τα μοντέλα ισορροπίας δικτύων συμβατά με την μεταφορά ως παράγωγη ζήτηση έχουν αναφερθεί σε προηγούμενες μελέτες στη βιβλιογραφία και ονομάζονται μοντέλα ισορροπίας χωρικών τιμών (spatial price equilibrium models). Το πρόβλημα χωρικών τιμών ή της ισορροπίας παράγωγης-ζήτησης διατυπώθηκε με πιο γενικό τρόπο από ότι στις προηγούμενες μελέτες. Περιλαμβάνονται όλα εκείνα τα προβληματικά χαρακτηριστικά των μοντέλων ισορροπίας δικτύων (πολλαπλά εμπορεύματα, μη διαχωρίσιμα, ασυμμετρία, εξωτερικά σημεία συμφόρησης, μη γραμμική προσφορά, ζήτηση και συνάρτηση κόστους μεταφοράς και μεταφόρτωσης). Παράγονται θεωρήματα εύκολα ως προς τον έλεγχο ύπαρξης και μοναδικότητας. Η απόδειξη της ύπαρξης δεν απαιτεί την ύπαρξη αντίστροφης συνάρτησης προσφοράς και ζήτησης. Επίσης αποδείχτηκε ότι η διαδοχική γραμμικοποίηση μπορεί θεωρητικά να επιβεβαιωθεί ότι συγκλίνει. Ακόμη, με αριθμητικά παραδείγματα έχει αποδειχθεί ότι και με μία πολύ πρόχειρη αρχική λύση, η σύγκλιση είναι γρήγορη. Αυτό το παράδειγμα έχει επίσης δείξει ότι ένας πολύ αποδοτικός αλγόριθμος μπορεί να κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας το συνήθως διαθέσιμο λογισμικό, αποφεύγοντας την ανάγκη σχεδιασμού και εφαρμογής ειδικών κωδίκων.

Ποικιλία προβλημάτων σε πολλές επιστημονικές περιοχές, όπως οι μεταφορές και τα συστήματα επικοινωνιών, οικονομικά και προβλήματα διανομής ενέργειας εμπεριέχουν τον ανταγωνισμό των πόρων. Σε αυτές τις συνθήκες υπεισέρχεται η ιδέα της ισορροπίας. Στην έρευνα του Dafermos, S με τίτλο "Isomorphism between spatial price and traffic equilibrium models"^[26] παρουσιάζεται ο τρόπος κατασκευής ενός μοντέλου ισομορφικής ισορροπίας δικτύου για το μοντέλο ισορροπία χωρικής τιμής. Καταρχήν παρουσιάζεται ότι μπορεί να διαμορφωθεί ένα μοντέλο ισορροπίας πολλαπλών κλάδων χωρικών τιμών ως ισοδύναμο μοντέλο ισορροπίας πολυτροπικού δικτύου κυκλοφορίας με ειδική δομή. Η

σύνδεση αυτή επιτρέπει την απόκτηση κάθε πληροφορίας που διατίθεται σήμερα στην καλά αναπτυγμένη θεωρία του γενικού μοντέλου ισορροπίας δικτύων και να ενισχυθούν ορισμένα από αυτά τα αποτελέσματα εκμεταλλευόμενοι την ειδική δομή του ισοδύναμου μοντέλου μεταφορικών δικτύων πολλαπλών μέσων.

Η έρευνα των Possamai, J., Pescador, A., Mayerle, S. και Neiva de Figueiredo, J.^[27] ασχολείται με το πρόβλημα σταθεροποίησης τιμών των εποχικών γεωργικών προϊόντων με και χωρίς ανώτατο και κατώτατο όριο τιμών (price band), χρησιμοποιώντας χωρικό και χρονικό πλαίσιο υπερδικτύου. Το πρόβλημα έχει διατυπωθεί ως μία επέκταση του κλασσικού προβλήματος χωρικής ισορροπίας τιμών. Τα αποτελέσματα του μοντέλου στηρίζουν τη χρήση μηχανισμών αποθήκευσης μεταξύ εποχών και επιβεβαιώνουν ότι η χρήση των ορίων τιμών είναι λιγότερο αποτελεσματική καθώς μειώνει το συνολικό κοινωνικό πλεόνασμα και δίνει λάθος μηνύματα και αντιλήψεις για την σπανιότητα ή το πλεόνασμα προϊόντων. Ένα ενδεικτικό αριθμητικό παράδειγμα παρέχει τη σύγκριση μεταξύ των εναλλακτικών πολιτικών. Τα αποτελέσματα αυτά θα μπορούσαν να επεκταθούν και στο φυσικό αέριο που λειτουργεί με παρόμοια τρόπο.

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"^[28] 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).

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικά στοιχεία ερευνών που αναλύθηκαν στη βιβλιογραφική επισκόπηση.

A/A	ΤΙΤΛΟΣ	ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ	ΕΡΓΑΛΕΙΑ	ΣΤΟΧΟΣ
1	A prototype for pipeline routing using remotely sensed data and geographic information system analysis	Sandra C. Feldman, Ramona E. Pelletier, Ed Walser, James C. Smoot, & Douglas Ahl.	Least Cost Path -LCP	ERDAS Imagine & ELAS (για τηλεπισκοπική ανάλυση),ARC/INFO (για ψηφιοποίηση), GRASS (για GIS ανάλυση)	Σχεδιασμός Βέλτιστης Χάραξης
2	Pipeline routing using geospatial information system analysis	Mahmoud Reza Delavar, & Fereydoon Naghibi	Least Cost Path -LCP	ArcGIS	Σχεδιασμός Βέλτιστης Χάραξης με πολυπαραμετρικό κόστος
3	Planning a least cost gas pipeline route: a GIS & SDSS integration approach	Maheen Iqbal, Farha Sattar, & Muhammad Nawaz.	Least Cost Path -LCP	ArcGIS,DSS	Σχεδιασμός Βέλτιστης Χάραξης
4	A web-based application for identifying and evaluating alternative pipeline routes and corridors	Berry, J. K., King, M. D., & Lopez, C.	Least Cost Path -LCP	ArcGIS,Excel	Σχεδιασμός Βέλτιστης Χάραξης
5	The unknown in decision making: What to do about it	Mujgan S. Ozdemir, & Thomas L. Saaty	AHP(Analytic Hierarchy Process)	-	Μελέτη επίδρασης άγνωστων παραμέτρων που επηρεάζουν ένα πρόβλημα
6	Complexity and uncertainty in Arctic resource decisions: The example of the Yamal pipeline	Ye. Andreyeva , O. I. Larichev , N. E. Flanders & R. V. Brown	Numerical Decision Analysis (NDA),Categorical Decision Analysis (CDA)	-	Διερεύνηση εργαλείων λήψης αποφάσεων
7	Numerical and verbal decision analysis: comparison on practical cases	Oleg I. Larichev, & Rex V. Brown.	Numerical Decision Analysis (NDA),Verbal Decision Analysis (VDA)	-	Σύγκριση προσεγγίσεων αναλύσεων λήψης αποφάσεων
8	Method for route selection of transcontinental natural gas pipeline	Fotios Thomaidis	Route selection method & AHP(Analytic Hierarchy Process)	Gas-PRS	Επιλογή της βέλτιστης διαδρομής αγωγού φυσικού αερίου
9	Optimum route of the south transcontinental gas pipeline in S.E. Europe using AHP	Fotios Thomaidis & Dimitrios Maurakis	AHP(Analytic Hierarchy Process)	-	Επιλογή της βέλτιστης διαδρομής αγωγού φυσικού αερίου
10	An integrated assessment model for cross-country pipelines	Prasanta Kumar Dey	AHP(Analytic Hierarchy Process)	-	Επιλογή της βέλτιστης διαδρομής αγωγού πετρελαίου
11	Feasibility analysis of cross –country petroleum pipeline projects: a quantitative approach	Prasanta Kumar Dey, & Soumitra Shankar Gupta	AHP(Analytic Hierarchy Process)	-	Επιλογή της βέλτιστης διαδρομής αγωγού πετρελαίου
12	Optimization of natural gas pipeline transportation using ant colony optimization	A. Chebouba, F. Yalaoui, A. Smati, L. Amodeo, K. Younsi & A. Tairi	ACO (Ant Colony Optimization)	-	Βελτιστοποίηση ροής για μείωση κατανάλωσης καυσίμου

A/A	TITΛΟΣ	ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ	ΕΡΓΑΛΕΙΑ	ΣΤΟΧΟΣ
13	Optimization problems in natural gas transportation systems: A state-of-the-art review	Roger Z. Rios-Mercado & Conrado Borraz-Sanchez	-	-	Βιβλιογραφική Έρευνα
14	Assessment of the Gas and Oil Pipelines in Europe- An extensive Briefing Note.	Jens Bjørnmose, Ferran Roca, Tatsiana Turgot, & Dinne Smederup Hansen	-	-	Παρουσίαση σοβαρών θεμάτων ενέργειας στην Ευρώπη
15	Geopolitics of European natural gas demand: Supplies from Russia, Caspian and the Middle East	Mert Bilgin	-	-	Ενεργειακή ασφάλεια
16	The European neighborhood and the EU's security of supply with natural gas	Philipp Offenberg	-	-	Συζήτηση περί ενεργειακής ασφάλειας της Ευρώπης
17	Some future scenarios of Russian natural gas in Europe	Mitrova, T., Boersma, T., & Galkina, A.	-	NEXANT WGM (World Gas Model)	Πρόβλεψη για το μέλλον του Ρώσικου αερίου
18	The development of natural gas supply costs to Europe, the United States and Japan in a globalizing gas market—Model-based analysis until 2030	Lochner, S., & Bothe, D	-	MAGELAN	Μοντέλο για πρόβλεψη αγοράς Φ.Α ΤΟ 2030
19	Alternative Spatial Equilibrium Models	Takayama, T., & Judge, G.	spatial price equilibrium models	Δημιουργία αλγορίθμου	Προβλήματα που εμπεριέχουν την εννοια της ισορροπίας
20	A nonlinear complementarity formulation and solution procedure for the general derived demand network equilibrium problem	Friesz, T., Tobin, R., Smith, T., & Harker, P.	spatial price equilibrium models	-	Προβλήματα που εμπεριέχουν την εννοια της ισορροπίας
21	Isomorphism between spatial price and traffic equilibrium models	Dafermos, S.	-	-	Προβλήματα που εμπεριέχουν την εννοια της ισορροπίας
22	Optimal commodity price stabilization as a multi-period spatial equilibrium problem: A supernetwork approach with public buffer stocks	Possamai, J., Pescador, A., Mayerle, S., & Neiva de Figueiredo, J.	Multi-period spatial equilibrium problem	-	Σταθεροποίηση τιμών
23	The gas transmission problem solved by an extension of the Simplex algorithm.	De Wolf, D., & Smeers, Y	Extension of the Simplex Algorithm	-	Βελτιστοποίηση δικτύου για ελαχιστοποίηση κόστους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Ανάλυση των βασικών καυσίμων

Για την ανάλυση του φυσικού αερίου, που αποτελεί αντικείμενο και της παρούσας διπλωματικής, κρίθηκε σκόπιμο να αναλυθούν δύο επιπλέον βασικά καύσιμα, ο άνθρακας και το πετρέλαιο, που αλληλεπιδρούν έντονα με το φυσικό αέριο και επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την πορεία και τις τιμές του.

3.1 Άνθρακας

3.1.1 Είδη των γαιανθράκων

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 υπόλειμά 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

3.1.2 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 αλλά και σωματιδιακή ρύπανση. Στις περιπτώσεις που το κοιτάσμα 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 ανθρακιτών, 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.

3.1.3 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 NOx.

3.1.4 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.

3.1.5 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^[29]. 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.

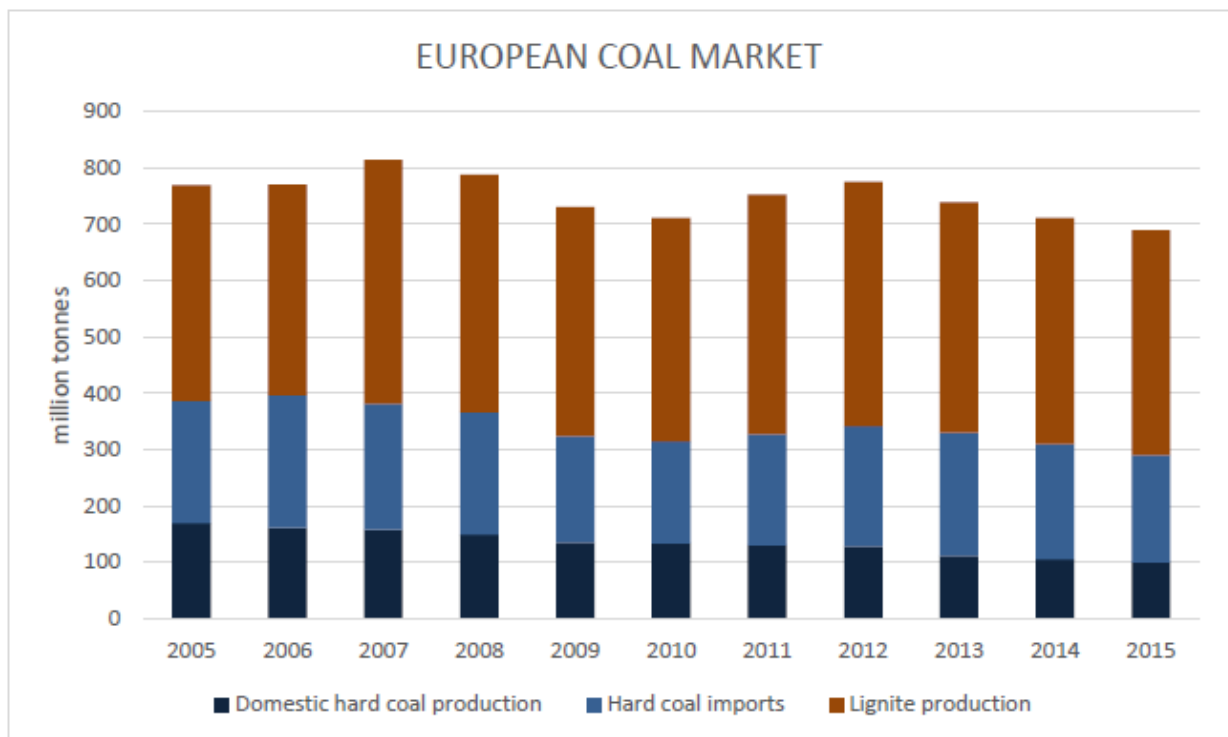
Στην περίπτωση της Ευρώπης, η πτώση της κατανάλωσης είναι ιδιαίτερα έντονη: το 2035, η χρήση άνθρακα θα ανέρχεται στο 57% της αντίστοιχης του 2011, κατέχοντας μερίδιο μόλις 11% στην ηλεκτροπαραγωγή των ευρωπαϊκών χωρών εντός ΟΟΣΑ, έναντι μεριδίου 25% που κατέχει σήμερα. Αυτό οφείλεται κατά βάση αφενός 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 IEA 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 IEA. Στο τέλος του 2011, τα αποδεδειγμένα αποθέματα άνθρακα έφταναν τους 1.040 δις τόνους.

Όσον αφορά το εμπόριο άνθρακα μεταξύ των περιφερειακών αγορών, θα καταγράψει 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.^[30]

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.

3.1.6 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.

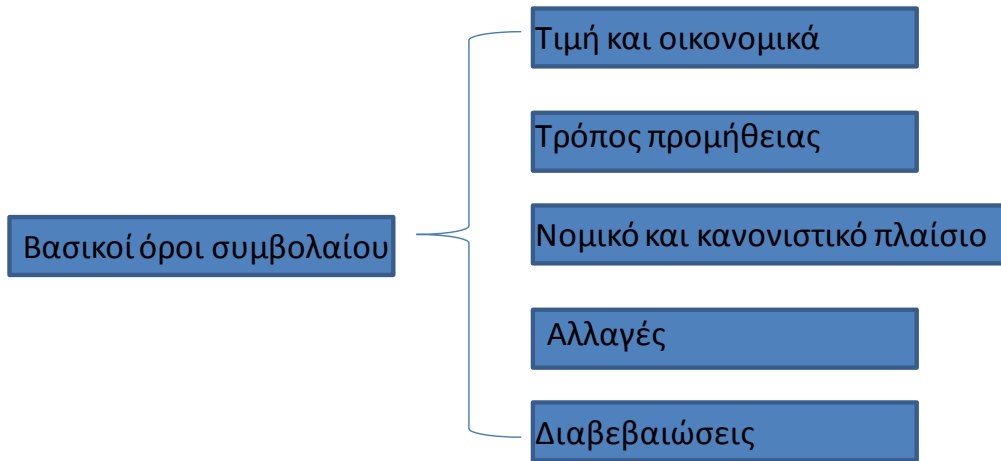
Από την άλλη πλευρά, εάν η συμφωνία εξασφαλίζει το μεταφερόμενο όγκο μακροπρόθεσμα, οι αποκλίσεις σε μηνιαία ή τριμηνιαία βάση είναι αναπόφευκτες. Παρά τη φαινομενικά κλειδωμένη φύση μιας μακροπρόθεσμης συμφωνίας, η ευελιξία σε αυτές τις συμβάσεις είναι σε θέση να επιτρέψει στον αγοραστή να λάβει περισσότερο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



Σχήμα 5: Βασικοί όροι συμβολαίων άνθρακα.

3.2 Πετρέλαιο

3.2.1 Είδη πετρελαίου

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.)

Το αργό (ακατέργαστο) πετρέλαιο είναι υγρό μείγμα υδρογονανθράκων, δηλαδή ουσιών που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο, κατά ένα μεγάλο μέρος της σειράς των αλκανίων, που περιέχει και αρκετούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, καθώς και άλλες οργανικές ενώσεις. Έτσι, τα κύρια συστατικά του είναι αλκάνια (παραφίνες), κυκλοεξάνια (ναφθένια) και αρωματικοί υδρογονάνθρακες και σε μικρότερες ποσότητες οξυγονούχες, αζωτούχες και θειούχες ενώσεις. Μπορεί να ποικίλει στην εμφάνιση, τη σύνθεση, και την καθαρότητα. Λαμβάνοντας υπόψη τη σύνθεση των πετρελαίων, αυτά κατατάσσονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Παραφινικά πετρέλαια που περιέχουν στερεή παραφίνη και κατά την απόσταξη δίνουν σημαντική αναλογία ελαφρών κλασμάτων και αποτελούνται αποκλειστικά από κεκορεσμένους υδρογονάνθρακες. Τα πρώτα της σειράς αυτής μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο και βουτάνιο παρατηρούνται και στα αέρια που συνοδεύουν το πετρέλαιο στην εξόρυξή του.
- Ασφαλτικά πετρέλαια. Αυτά δίνουν περισσότερο βαρέα κλάσματα όπως μαζούτ και ορυκτέλαια. Τα ελαφρά κλάσματα των πετρελαίων αυτών αποτελούνται κυρίως από κεκορεσμένους κυκλικούς υδρογονάνθρακες (ναφθένια) της πολυμεθυλενικής σειράς.
- Ασφαλτοπαραφινικά πετρέλαια που αποτελούν μίξη των παραπάνω κατηγοριών και η μία σειρά δεν υπερτερεί της άλλης.

3.2.2 Σχηματισμός Πετρελαίου

Για την ερμηνεία της δημιουργίας του πετρελαίου υπάρχουν πολλές και μάλιστα αλληλοσυγκρουόμενες θεωρίες. Χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις θεωρίες ανόργανης προέλευσης και τις θεωρίες οργανικής προέλευσης. Στην πρώτη ομάδα υποστηρίζεται ότι ο σχηματισμός έγινε από συνδυασμό χημικών αντιδράσεων που συνέβησαν τυχαία στο φλοιό της γης, ενώ στη δεύτερη ότι η μετατροπή έγινε από φυτά και ζώα εκατομμυρίων ετών μέσω ενζυματικής και θερμοχημικής δράσης.

Ο γεωλόγος Ποτονιέ ξεκίνησε να δέχεται πως το πετρέλαιο είναι προϊόν αποσύνθεσης ζωικών και φυτικών οργανισμών που εγκλείστηκαν μέσα στα πετρώματα σε μεγάλο βάθος στη Γη. Οπαδοί αυτού δέχονται επίσης πως οι εν λόγω οργανισμοί ήταν κυρίως θαλάσσιοι, ανάλογοι με εκείνους που αποτελούν το πλαγκτόν. Τα λείψανα αυτών των οργανισμών παρασύρθηκαν από θαλάσσια ρεύματα και ανέμους και συγκεντρώθηκαν κατά μεγάλες ποσότητες στους πυθμένες θαλασσιών λεκανών (κόλπων, λιμνοθαλασσών κ.τ.λ.). Οι

λεκάνες αυτές στη συνέχεια από διάφορες αναστατώσεις της επιφάνειας της Γης αποκλείστηκαν και καταχώθηκαν. Έτσι, εκ του αποκλεισμένου αυτού οργανικού υλικού προέκυψε με αποσύνθεση, υπό την επίδραση αναεροβίων βακτηρίων, το πετρέλαιο.

Η θεωρία αυτή βασίστηκε επίσης στο γεγονός ότι στα διάφορα πετρέλαια βρέθηκαν επίσης ίχνη χλωροφύλλης και αιμίνης. Η ύπαρξη των ενώσεων αυτών αποδεικνύει αφενός τη φυτική και ζωική προέλευση, αφετέρου ότι η δημιουργία αυτή έγινε κάτω από ήπια βιολογική δράση, δεδομένου ότι οι ενώσεις αυτές αποσυντίθενται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 250 βαθμών. Η θεωρία αυτή ενισχύεται ακόμη περισσότερο και από το γεγονός ότι τα πετρέλαια σήμερα εντοπίζονται πάντα σε τυπικά ιζηματογενή πετρώματα, ενώ στη βάση των πετρελαϊκών κοιτασμάτων ανευρίσκεται, σχεδόν πάντα, αλμυρό νερό.

3.2.3 Εξόρυξη και άντληση πετρελαίου

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 ηφαίστεια 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 «κέμπ 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.

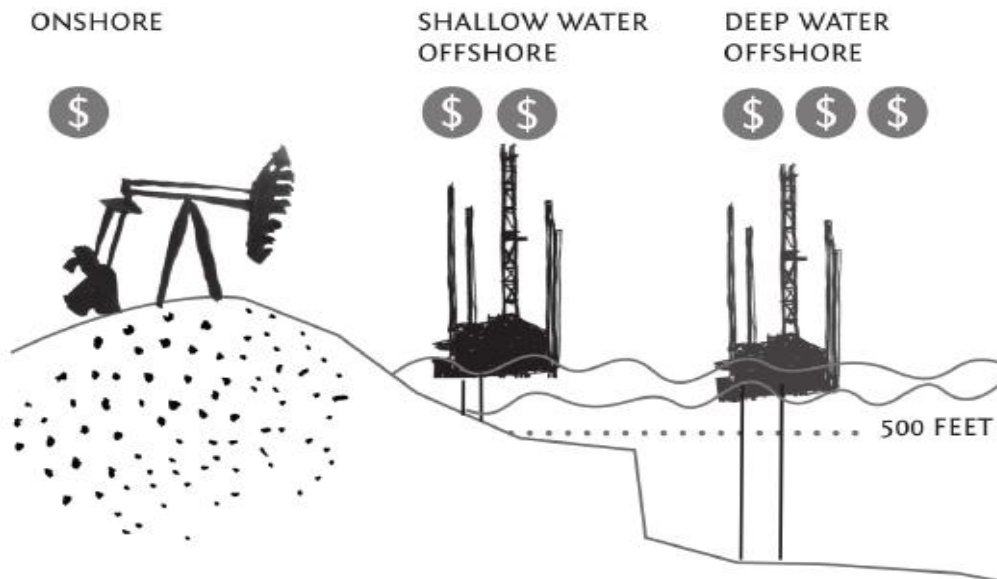
- Ηλεκτρική μέθοδος. Αυτή η μέθοδος βασίζεται κυρίως στο γεγονός ότι ο φλοιός της Γης έχει ορισμένες ηλεκτρικές σταθερές, μία εκ των οποίων είναι και η αντίσταση διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι, με δεδομένο ότι το πετρέλαιο δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, η ένδειξη μεγαλύτερης σχετικής 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 γεωτρήματα 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



Υπόμνημα

onshore: επίγεια

shallow water offshore: υποθαλάσσια μικρού βάθους

shallow water offshore: : υποθαλάσσια μεγάλου βάθους

Σχήμα 6: Σχηματική απεικόνιση τιμής και μεθόδου άντλησης πετρελαίου.

3.2.4 Μεταφορά πετρελαίου

Οι πρώτες εταιρίες πετρελαίου της Πενσυλβανίας 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 Πενσυλβανία 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 υπήλατες άμαξες. Τα σύγχρονα συστήματα αγωγών εξελίχθηκαν και πολλαπλασιάστηκαν. Σύμφωνα με την Ένωση Πετρελαιοαγωγών, το δίκτυο των Ηνωμένων Πολιτειών και μόνο αποτελείται από πετρελαιοαγωγούς 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.

3.2.5 Επεξεργασία Πετρελαίου

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 επαναεισαγωγή 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, κερι, 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 αεριωθουμένων
- Καύσιμο ντίζελ
- Λιπαντικά
- Κερι 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 αιθέριο πολυμερίζεται για την παραγωγή πολυαιθενίου.

3.2.6 Σχιστολιθικό Πετρέλαιο

Το Williston βρίσκεται πάνω από το Bakken, έναν βραχώδη σχηματισμό έκτασης 500.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων που περιέχει άφθονο πετρέλαιο. Χάρη στις τεχνολογικές εξελίξεις, που οδήγησαν στην πτώση του κόστους εξόρυξης του πετρελαίου από σχιστόλιθο, η παραγωγή αργού πετρελαίου της Βόρειας Ντακότας αυξήθηκε από μόλις 75.000 βαρέλια ημερησίως το 2005 σε 550.000 βαρέλια ανά ημέρα σήμερα- περισσότερα από οποιαδήποτε άλλη πολιτεία πλην του Τέξας. Ακόμη και το Εκουαδόρ, το οποίο είναι μέλος του ΟΠΕΚ, δεν φτάνει την παραγωγή της Ντακότας.

Η εξόρυξη από σχιστόλιθο μαζί με την αύξηση της παραγωγής από τον Κόλπο του Μεξικού αντέστρεψε την πτωτική πορεία που ακολουθεί τα τελευταία αρκετά χρόνια η παραγωγή αργού πετρελαίου στις ΗΠΑ. Η άνοδος του πετρελαίου από σχιστόλιθο ακολούθησε εκείνη του αερίου από σχιστόλιθο. Και τα δύο παράγονται μέσω υδρορωγμάτωσης, μια διαδικασία κατά την οποία το νερό, η άμμος και τα χημικά εκτοξεύονται στον σχιστόλιθο για να τον σπάσουν και να απελευθερώσουν το πετρέλαιο ή το αέριο που έχει μέσα του. Η υδρορωγμάτωση είναι γνωστή από το 1940 αλλά μόνο στα τέλη της δεκαετίας του 1990 οι τεχνικές επέτρεψαν τη χρήση της σε μεγάλη κλίμακα και το συνδυασμό της με διαδικασίες όπως η οριζόντια εξόρυξη και η σεισμική απεικόνιση.

Αυτό το φαινόμενο, η υπεραύξηση δηλαδή των αποθεμάτων στις ΗΠΑ, είναι πιθανό κατά τις επόμενες δεκαετίες να πλήξει τους παραδοσιακούς παραγωγούς πετρελαίου, κυρίως τα μέλη του ΟΠΕΚ. Οι προσδοκίες παλαιότερα ήταν ότι η παγκόσμια ζήτηση για ενέργεια στα επόμενα είκοσι χρόνια θα καλύπτονταν σχεδόν αποκλειστικά από τον ΟΠΕΚ. Αν και η εξόρυξη ενέργειας από σχιστόλιθο έχει ήδη προφανείς συνέπειες στις ΗΠΑ, δεν είναι βέβαιο ότι οι επιπτώσεις στον υπόλοιπο κόσμο θα είναι εξίσου σημαντικές. Μια κατάρρευση στις τιμές του πετρελαίου ή του αερίου θα μπορούσε να αναβάλει όλες τα σχέδια με τον σχιστόλιθο και να σταματήσει τις επενδύσεις στην έρευνα.

3.2.7 Ιδιότητες Αργού Πετρελαίου

Οι βασικές ιδιότητες σύμφωνα με τις οποίες καθορίζεται και ο τύπος του πετρελαίου είναι οι ακόλουθες.

- Η πυκνότητα είναι η μάζα της μονάδας όγκου του αργού πετρελαίου
- Η περιεκτικότητα σε θείο εκφράζεται ως επί της εκατό κατά βάρος με τιμές 0.1-5%.

Οι δύο παραπάνω ιδιότητες είναι και αυτές που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την τιμή του πετρελαίου.

- Σημείο ροής είναι μια αδρή ένδειξη της παραφινικότητας του αργού
- Το εξανθράκωμα μετριέται ως επί τοις εκατό ανθρακούχο υπόλειμμα, προσδιορίζεται με τη μέθοδο Ramsbottom ή τη μέθοδο Conradson και είναι το αποτέλεσμα της πυρόλυσης του πετρελαίου μέχρι δημιουργίας ανθρακούχου υπολείμματος απουσία αέρα.
- Η περιεκτικότητα σε άλατα μας δείχνει πότε είναι απαραίτητη η αφαλάτωση, γιατί μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα διάβρωσης.
- Ο συντελεστής χαρακτηρισμού UOP που είναι χρήσιμος για την αξιολόγηση κλασμάτων αργού πετρελαίου. Όσο χαμηλότερος είναι τόσο μεγαλύτερη είναι και η περιεκτικότητα σε παραφίνες, ενώ όσο υψηλότερη τιμή έχει τόσο μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ναφθένια και αρωματικά έχει.
- Η περιεκτικότητα σε άζωτο είναι σημαντική λόγω της δηλητηρίασης των καταλυτών και προβλημάτων διάβρωσης που αυτό προκαλεί.
- Χαρακτηριστικά απόσταξης: Η περιοχή βρασμού δίνει μια ένδειξη των προϊόντων που μπορούν να ληφθούν από το αργό
- Η περιεκτικότητα σε μέταλλα, η οποία παρά τις μικρές συγκεντρώσεις έχει σημασία γιατί επηρεάζει τη δραστηριότητα των καταλυτών και μπορεί να οδηγήσει σε προϊόντα μικρότερης εμπορικής αξίας.

3.2.8 Πόσο πετρέλαιο υπάρχει και πού βρίσκεται

Με το πέρασμα του χρόνου, η επικράτηση του πετρελαίου στην παγκόσμια αγορά έχει ενισχυθεί με τη συνεχή ανακάλυψη νέων πετρελαιοφόρων περιοχών σε διάφορα μέρη του κόσμου — περίπου σε 50.000 τοποθεσίες. Ωστόσο, όσον αφορά την παραγωγή, ο σημαντικός παράγοντας είναι, όχι ο αριθμός των περιοχών που ανακαλύπτονται, αλλά το μέγεθός τους. Οι πετρελαιοφόρες περιοχές που περιέχουν τουλάχιστον πέντε

δισεκατομμύρια βαρέλια απολήψιμων αποθεμάτων πετρελαίου — οι οποίες ονομάζονται υπεργιγάντιες — είναι οι μεγαλύτερες στην κατάταξη, ενώ ακολουθούν οι γιγάντιες (που περιέχουν από πεντακόσια εκατομμύρια έως πέντε δισεκατομμύρια βαρέλια. Οι περισσότερες υπεργιγάντιες πετρελαιοφόρες περιοχές είναι συγκεντρωμένες στην αραβοϊρανική λεκάνη ιζηματογένεσης, η οποία περιλαμβάνει την περιοχή μέσα και γύρω από τον Περσικό Κόλπο. Ακολουθεί συνοπτική παρουσίαση των χωρών αυτών:

Ρωσία: Απειλείται από την επιστροφή του Ιράν, που σημαίνει πως η χώρα θα βρει έναν ακόμα ανταγωνιστή στις Ευρωπαϊκές αγορές.

Σαουδική Αραβία: Πρόκειται για ένα σημαντικό παίκτη στις διεθνείς αγορές, όμως η θέση της Σαουδικής Αραβίας μπορεί να κινδυνέψει με την επιστροφή του Ιρανικού πετρελαίου.

Ιράκ: Η οικονομία του Ιράκ στηρίζεται επίσης στο πετρέλαιο. Επομένως, όταν οι τιμές έπεσαν το 2014, τα κρατικά έσοδα σημείωσαν πτώση ύψους 30%.

Καναδάς: Πρόκειται για τον μεγαλύτερο προμηθευτή πετρελαίου των ΗΠΑ. Αξίζει να σημειωθεί όμως πως το Καναδικό πετρέλαιο είναι 20% πιο καταστρεπτικό για το περιβάλλον.

Ιράν: Οι αναλυτές πιστεύουν πως η επιστροφή της χώρας στις αγορές θα ρίξει τις τιμές, ενώ εκτιμάται πως θα ενταθούν οι αντιπαραθέσεις με την Σαουδική Αραβία και την Ρωσία.

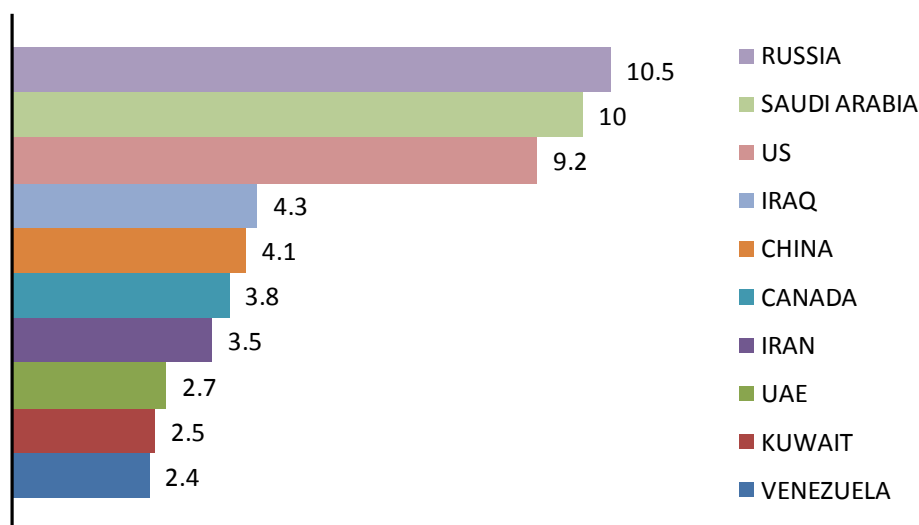
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα: Πρόκειται για μια χώρα που εκσυγχρονίστηκε μέσα σε λιγότερο από 30 χρόνια, μετά την εξεύρεση πετρελαίου.

Κουβέιτ: Πάνω από το μισό ΑΕΠ του Κουβέιτ βασίζεται στο πετρέλαιο. Η χώρα σχεδιάζει μάλιστα να αυξήσει την παραγωγή σε 4 εκατομμύρια bbl έως το 2020.

Βενεζουέλα: Το 96% των εσόδων των εξαγωγών της Βενεζουέλα βασίζεται στο πετρέλαιο, καθώς και το 11% του ΑΕΠ.

Νιγηρία: Από την δεκαετία του 1970 η χώρα στηρίζεται στην εξαγωγή πετρελαίου. Το 2014 είχε να αντιμετωπίσει την κατάρρευση των τιμών.

Λιβύη: Η οικονομία της Αφρικανικής χώρας στηρίζεται αποκλειστικά στην ενέργεια. Οι πωλήσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου σημείωσαν μεγάλη πτώση το 2014, μετά από απεργίες των εργαζομένων στις δεξαμενές πετρελαίου.

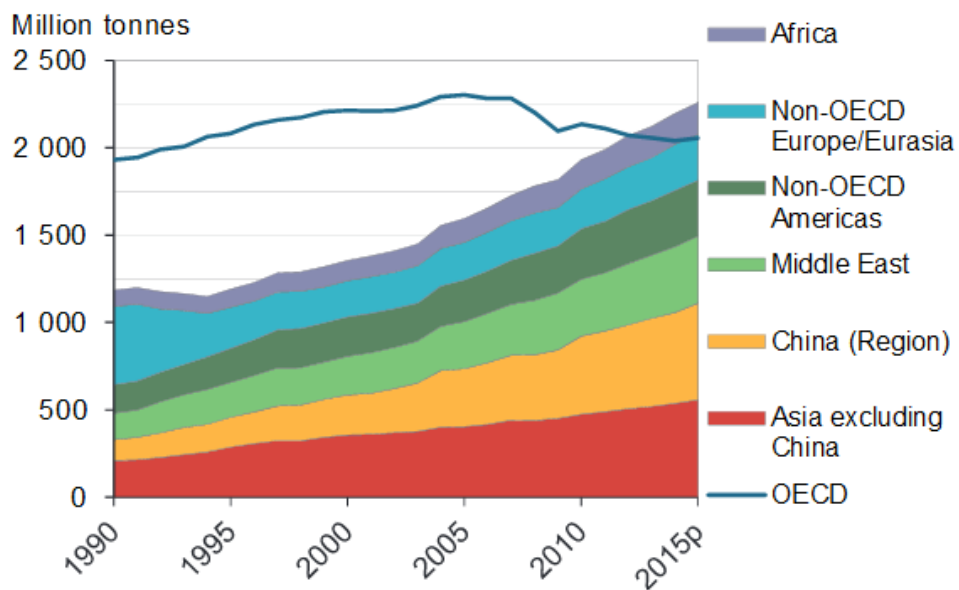


Σχήμα 7: Εκατομμύρια βαρέλια τη μέρα (1 εξάμηνο 2016).^[31]

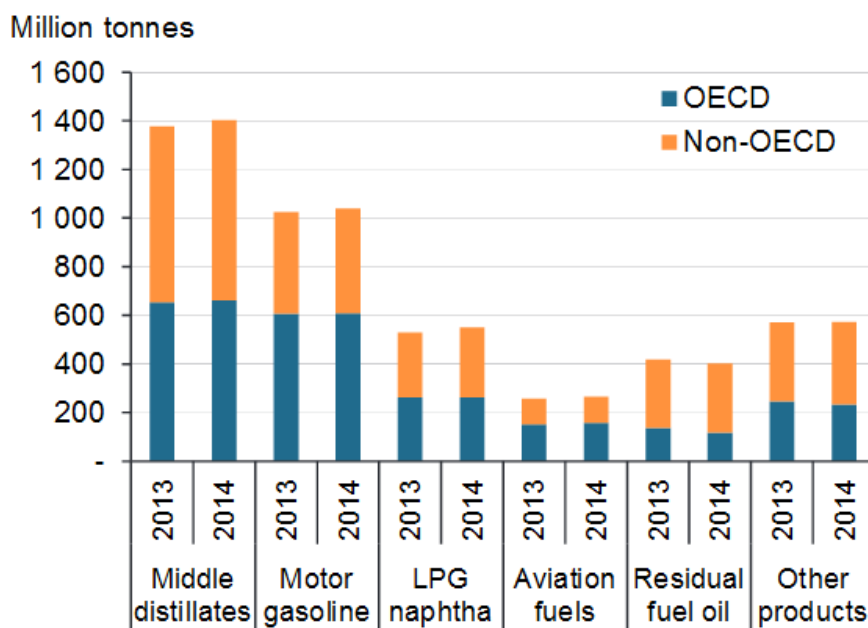
Η αναζήτηση νέων πηγών πετρελαίου δεν έχει σταματήσει. Τουναντίον, έχει ενισχυθεί με την πιο σύγχρονη τεχνολογία. Τον τελευταίο καιρό, η προσοχή των πετρελαιοπαραγωγών έχει στραφεί στην περιοχή της Κασπίας Θάλασσας, στην οποία βρίσκονται το Αζερμπαϊτζάν, το Ιράν, το Καζακιστάν, το Ουζμπεκιστάν, η Ρωσία και το Τουρκμενιστάν. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Πληροφοριών για την Ενέργεια, των ΗΠΑ, σε αυτή την περιοχή υπάρχουν τεράστιες δυνατότητες εκμετάλλευσης του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Εξετάζονται εναλλακτικές οδοί εξαγωγών, όπως μέσω του Αφγανιστάν. Επιπλέον, έχουν βρεθεί περιοχές με δυνατότητα εκμετάλλευσης στη Μέση Ανατολή, στη Γροιλανδία και σε τμήματα της Αφρικής.

3.2.9 Ζήτηση πετρελαίου

Το 2014, σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια, η αύξηση της ζήτησης πετρελαίου προήλθε από χώρες μη μέλη του ΟΟΣΑ (+ 3.5%, 74 Mt, 1.7 Mb/d), ενώ η ζήτηση πετρελαίου χωρών μέλη του ΟΟΣΑ μειώθηκε ελαφρώς (-0.8%, -17 Mt, -0.3 Mb/d). Οι εκτός ΟΟΣΑ χώρες αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μερίδιο της ζήτησης πετρελαίου παγκοσμίως (52% το 2014). Η πρόσθετη ζήτηση πετρελαίου προήλθε από μη μέλη του ΟΟΣΑ στην Ασία (32.4 Mt, 770 kb/d). Η Κίνα, ο δεύτερος μεγαλύτερος καταναλωτής πετρελαίου στον κόσμο αύξησε την κατανάλωση της κατά 16.4 Mt (420 kb / d) ενώ η Ινδία κατά 7.0 Mt (150 kb/d). Αυτό οφείλεται κυρίως στις προσπάθειες που καταβάλλονται για τη βελτίωση των εκθέσεων της διεθνούς ναυσιπλοΐας στη Ρωσία, την τέταρτη μεγαλύτερη χώρα κατανάλωσης πετρελαίου στον κόσμο.



Σχήμα 8: Ζήτηση πετρελαίου ανά γεωγραφική περιοχή, σύμφωνα με την IEA.

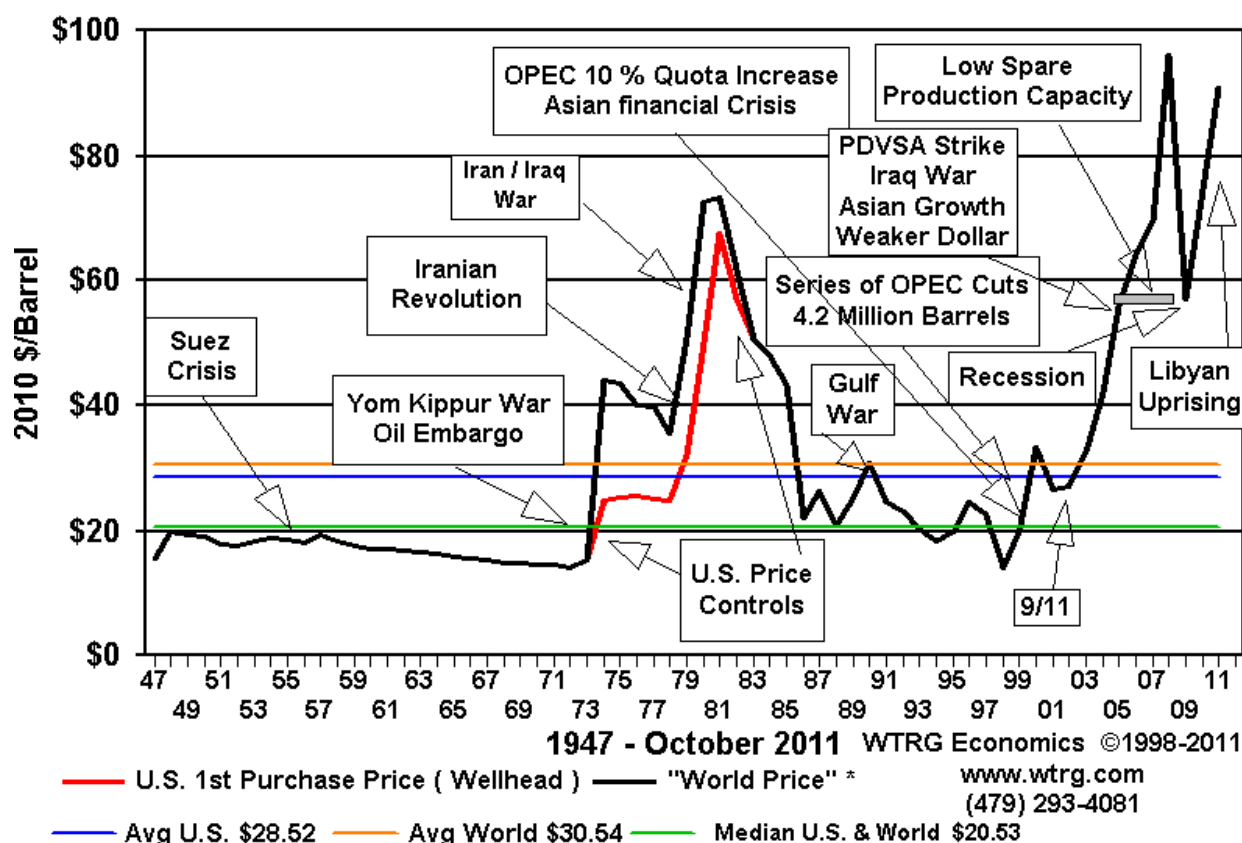


Σχήμα 9: Παγκόσμια ζήτηση πετρελαίου ανά κατηγορία παραγώγων πετρελαίου, σύμφωνα με την IEA.

3.2.10 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.



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

Σχήμα 10: Χρονική εξέλιξη τιμών πετρελαίου.^[32]

3.3 Φυσικό Αέριο

Το Φυσικό Αέριο είναι ένα μείγμα καυσίμων αερίων που βρίσκεται σε κοιλότητες του υπεδάφους, συνήθως μαζί με άλλα ορυκτά καύσιμα. του. Είναι μείγμα υδρογονανθράκων σε αέρια κατάσταση. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) και ανήκει στη 2^η Οικογένεια των αερίων καυσίμων. Πριν διατεθεί για χρήση υφίσταται μια επεξεργασία κατά την οποία διαχωρίζονται και κατακρατούνται ποικίλα ανεπιθύμητα συστατικά και ενώσεις από τη μάζα 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.

3.3.1 Ιδιότητες Φυσικού Αερίου

Το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα με σχετική πυκνότητα 0.55. Σε περίπτωση διαρροής, διαφεύγει προς την ατμόσφαιρα σε αντίθεση με το υγραέριο (LPG) που είναι βαρύτερο από τον αέρα με σχετική πυκνότητα 1.8. Η Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (ΑΘΔ) του φυσικού αερίου κυμαίνεται από 9.000 – 11.000 Kcal/Nm³, ενώ ΑΘΔ του υγραερίου είναι σημαντικά υψηλότερη, από 23.000 – 30.000 Kcal/Nm³. Αυτό, σε συνδυασμό με τη διαφορετική σχετική πυκνότητα των δύο καυσίμων, σημαίνει ότι το φυσικό αέριο και το υγραέριο δεν είναι άμεσα εναλλάξιμα μεταξύ τους, δηλαδή, η υποκατάσταση του ενός από το άλλο απαιτεί τροποποίηση ή αντικατάσταση καυστήρων. Τα όρια ανάφλεξης του φυσικού αερίου είναι 4.5% - 15%. Δηλαδή, η καύση δεν μπορεί να συντηρηθεί, εάν η περιεκτικότητα του αέρα σε φυσικό αέριο είναι εκτός αυτών των ορίων

3.3.2 Πλεονεκτήματα Φυσικού Αερίου

Το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και δεν είναι τοξικό. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο στην βιομηχανία, από τους επαγγελματίες και τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού όσο και στο σπίτι. Η οικιακή χρήση αφορά κυρίως στην κεντρική ή την ατομική θέρμανση, στο ζεστό νερό, το μαγείρεμα και τον κλιματισμό. Εξασφαλίζεται υψηλότερη απόδοση καύσης και μικρότερο κόστος συντήρησης, χωρίς πρόσθετες δαπάνες για την ομαλή λειτουργία του (δεξαμενές, αντλίες, προθερμαντήρες, κ.λπ.). Μπορεί να γίνει καλύτερη διαχείριση αφού άμεση πληροφόρηση της ποσότητας φυσικού αερίου που έχει καταναλωθεί, μέσω της καταγραφής του μετρητή, και πληρωμή μόνο για την ποσότητα αυτή. Η μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο αποτελεί σημαντική επίδραση με θετικό τρόπο στη δομή του ενεργειακού ισοζυγίου.

Η καύση του δημιουργεί τη μικρότερη ρύπανση σε σχέση με τα λοιπά συμβατικά καύσιμα, συμβάλλει περιορισμένα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού παράγει μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με το πετρέλαιο, και δεν προκαλεί όξινη βροχή, καθώς δεν περιέχει καθόλου θείο. Συμβάλλει λοιπόν στην προστασία του περιβάλλοντος, αφού είναι η καθαρότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας, μετά τις ανανεώσιμες μορφές. Τα μεγέθη των εκπεμπόμενων ρύπων είναι σαφώς μικρότερα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, ενώ η βελτίωση του βαθμού απόδοσης μειώνει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου και συνεπώς περιορίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Το αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολύ πιο εύκολα από ότι κάποιο άλλο ορυκτό καύσιμο συνδεδεμένο με την ανανεώσιμη ενέργεια. Τα ηλιακά και τα αιολικά πάρκα συνήθως χρειάζεται να ενισχυθούν με πηγές ενέργειας που μπορούν να αυξήσουν την ένταση όταν ο άνεμος σταματήσει ξαφνικά ή το φως ελαττωθεί. Οι γεννήτριες αερίου που μπορούν να ξεκινήσουν και να σταματήσουν γρήγορα ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στις απαιτήσεις αυτές.

3.3.3 Εξόρυξη και Μεταφορά Φ.Α

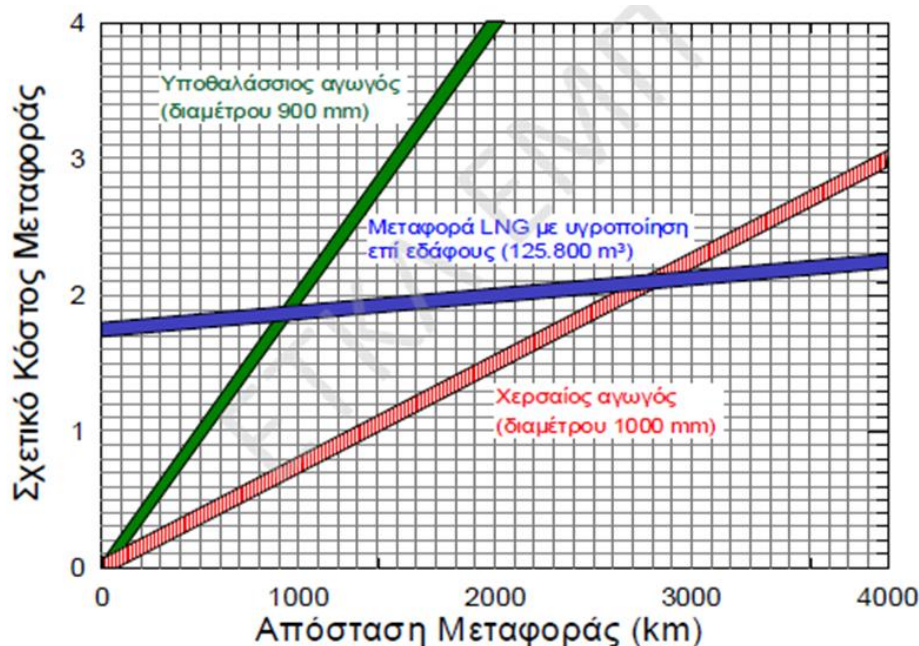
Εξάγεται από υπόγειες κοιλότητες στις οποίες βρίσκεται υπό υψηλή πίεση. Σε αυτές τις κοιλότητες το φυσικό αέριο σχηματίστηκε με τρόπο παρόμοιο με τον τρόπο σχηματισμού του πετρελαίου. Η διαδικασία της εξόρυξης του φυσικού αερίου δημιουργεί μεγάλες κοιλότητες στο έδαφος. Οι κοιλότητες αυτές οδηγούν σε 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 Λουιζιάνα 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).

3.3.4 Κόστος αγωγών Φ.Α

Το κόστος των αγωγών φυσικού αερίου έχει να κάνει με το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος των αγωγών και των σταθμών συμπίεσης. Το κόστος επένδυσης εκτιμάται ως συνάρτηση της διαμέτρου του αγωγού (που εμφανίζει οικονομίες κλίμακας) συνυπολογίζοντας και λοιπούς παράγοντες που αυξάνουν το κόστος όπως το είδος του εδάφους, η πυκνότητα του πληθυσμού και το κλίμα. Οι υπεράκτιοι αγωγοί για παράδειγμα

είναι κατά ποσοστό 50% πιο ακριβοί να κατασκευαστούν. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι διαφορές κόστους μεταφοράς σε αγωγούς ανάλογα με το είδος τους.



Σχήμα 11: Συγκριτικός Πίνακας κόστους- απόστασης μεταφοράς για είδη αγωγών. ^[33]

Είναι φανερό ότι οι υποθαλάσσιοι αγωγοί έχουν μεγαλύτερο κόστος μεταφοράς, όμως η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει επιτύχει να μειώσει το κόστος μονάδος τους έως και 50% και έχει καταστήσει δυνατή τη κατασκευή τους σε πολύ μεγάλα βάθη. Όσον αφορά το κόστος μεταφοράς των αγωγών σε σχέση με το LNG, η μεταφορά με αγωγούς είναι πιο οικονομική για μικρότερες αποστάσεις, ενώ η μεταφορά με LNG για πολύ μεγαλύτερες.

3.3.5 Σύγκριση πετρελαίου και φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο είναι οικονομικότερο του πετρελαίου. Η διαφορά τιμής του αερίου από το πετρέλαιο είναι 20% και η καύση του έχει πολύ λιγότερες βλαβερές συνέπειες στο περιβάλλον. Το πρόβλημα του Φ.Α. έγκειται στο γεγονός ότι το δίκτυο δεν έχει καλύψει ακόμα ικανοποιητικό ποσοστό των πόλεων και άρα οι ιδιοκτήτες πρέπει ή να επιβαρυνθούν με όλο το κόστος του δικτύου μέχρι την πόρτα τους ή να περιμένουν μια τυχόν επέκταση του δικτύου.

3.3.6 Σχιστολιθικό Αέριο

Από τα επίπεδα σχεδόν του μηδενός το 2000, η εξόρυξη από σχιστόλιθο έφτασε να αντιστοιχεί σήμερα στο ένα τρίτο των αποθεμάτων των ΗΠΑ. Είναι τέτοια η επίπτωση αυτών των εξελίξεων, ώστε η χώρα είναι πια ο μεγαλύτερος και πιο αναπτυσσόμενος παραγωγός φυσικού αερίου. Η αφθονία αερίου στη χώρα οδήγησε στην απότομη πτώση των τιμών. Τα τελευταία χρόνια, το αέριο αύξησε τη συμμετοχή του στην συνολική παραγωγή της ενεργειακής παραγωγής των ΗΠΑ από το 1/5 στο 1/4. Η παραγωγή ενέργειας από άνθρακα υποχώρησε στο 36% κατά το πρώτο τρίμηνο του 2012, χαμηλότερα

από το 45% ένα έτος νωρίτερα, σύμφωνα με την Αμερικανική Διεύθυνση Ενεργειακών Δεδομένων. Σε μεγάλο βαθμό λόγω αυτού, οι ΗΠΑ μπόρεσαν να μειώσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη χώρα στο διάστημα των πέντε τελευταίων ετών. Στην Ευρώπη, όπου η χρήση άνθρακα έχει αυξηθεί, έως κάποιο βαθμό λόγω της αύξησης της τιμής του αερίου, έχουν αυξηθεί και οι εκπομπές άνθρακα. Η Γηραιά ήπειρος δεν έχει ακόμη προχωρήσει στην παραγωγή αερίου από σχιστόλιθο, αν και διαθέτει μεγάλα αποθέματα. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο ότι οι ευρωπαίοι εμφανίζονται πιο ανήσυχοι για την υδρορωγμάτωση από ότι οι Αμερικανοί. Η Γαλλία που θεωρείται ότι έχει τα περισσότερα αποθέματα στο έδαφός της και η Βουλγαρία, εγκατέλειψαν την πρακτική. Οι βασικές ανησυχίες είναι ότι η υδρορωγμάτωση είναι πιθανό να προκαλέσει σεισμούς (πρόσφατα στην νοτιοδυτική Αγγλία απαγορεύτηκε λόγω μιας μικρής δόνησης που συνδέθηκε και με την εξόρυξη από σχιστόλιθο), να μολύνει το νερό και να ελευθερώσει στην ατμόσφαιρα αέρια του θερμοκηπίου.

Εμπόδιο όμως στην ευρωπαϊκή παραγωγή μπορεί να αποτελέσει και η ίδια η γεωλογία. Οι διαφορετικές συστάσεις του πετρώματος ανάμεσα στις ΗΠΑ και την Ευρώπη οδήγησαν τους επιστήμονες στο συμπέρασμα ότι οι γεωτρήσεις στην περίπτωση της Γηραιάς Ηπείρου είναι πιθανό να μην μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ίδια τεχνολογία που εξυπηρέτησε τόσο πολύ τις ΗΠΑ. Η Πολωνία, η οποία στην προσπάθειά της να ανεξαρτητοποιηθεί από τη Ρωσία έχει κάνει τη μεγαλύτερη πρόοδο στην ήπειρο και έχει παραχωρήσει περισσότερες από 100 άδειες έρευνας, υπέστη πλήγμα τον Ιούνιο, όταν η Exxon Mobil ανακοίνωσε ότι σταματά τις δοκιμές, καθώς βρήκε λιγότερο αέριο από όσο περίμενε, και υπονοώντας ότι νέες τεχνικές θα χρειάζονταν για να εξορυχτεί ότι βρίσκεται εκεί.

Εξάλλου, οι περιβαλλοντικοί φόβοι ειδικά στην Ευρώπη είναι ακόμη οξυμένοι. Ωστόσο, οι περισσότεροι άνθρωποι που είχαν κάποια επαφή με την ενέργεια από σχιστόλιθο, θεωρούν αμελητέες τις δυσκολίες και εκφράζουν την άποψη ότι τα αποτελέσματά της θα έχουν βάθος και διάρκεια. Ο Peter Voser διευθύνων σύμβουλος στη Shell υποστηρίζει ότι «η επανάσταση στο φυσικό αέριο είναι η πιο σημαντική εξέλιξη στον τομέα της ενέργειας εδώ και δεκαετίες. Οι οικονομολόγοι είναι διχασμένοι ανάμεσα στο εάν η άνοδος της παραγωγής ενέργειας από σχιστόλιθο θα οδηγήσει σε υποχώρηση τις παγκόσμιες τιμές ενέργειας.

3.3.7 Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποτελεί έναν τρόπο αποθήκευσης φυσικού αερίου. Σε υγρή μορφή το αέριο καταλαμβάνει 600 φορές λιγότερο χώρο απ ότι σε αέρια μορφή. Ουσιαστικά αποτελεί αέριο επεξεργασμένο το οποίο ψύχεται στους -162°C και βρίσκεται υπό υψηλή πίεση και μπορεί να μεταφερθεί σε πολύ ψυχρά (κρυογενετικά) τάνκερ. Αποτελεί απαραίτητο τρόπο προμήθειας φυσικού αερίου σε χώρες όπου δεν υπάρχει διασύνδεση με το δίκτυο αγωγών ή όπου αυτοί δεν επαρκούν, συμβάλλοντας έτσι στην κάλυψη της ζήτησης και στην ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας.

Τα κόστη για την αποθήκευση και τη μεταφορά του είναι μεγαλύτερα από τα υπόλοιπα ορυκτά καύσιμα. Σύμφωνα με την Διεθνή Ένωση Αερίου, 28 χώρες διαθέτουν σταθμούς επαναεριοποίησης. Σχεδόν το 15-20% του αερίου μεταφέρεται στην Ευρώπη ως LNG. Κατά κύριο λόγο το μεγαλύτερο μερίδιο του υγροποιημένου αερίου προσφέρεται μέσω μακροπρόθεσμων συμβολαίων σε τιμές σχετιζόμενες με εκείνες του πετρελαίου.

Ο μεγαλύτερος εισαγωγέας LNG είναι η Ιαπωνία, αφού η τοπική παραγωγή της είναι ελάχιστη. Στην Ευρώπη οι μεγαλύτεροι προμηθευτές LNG είναι το Κατάρ, η Αλγερία και η Νιγηρία. Οι χώρες οι οποίες φαίνεται να επενδύουν σε αυτό είναι η Αυστραλία, οι ΗΠΑ και η Νέα Γουινέα. Λόγω του ότι η αύξηση των αγωγών βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα είναι δύσκολη, αφού αποτελεί ακριβή επένδυση που χρειάζεται αρκετό χρόνο κατασκευής και επηρεάζεται από τις γεωπολιτικές συνθήκες και τα τέλη μεταφοράς, το LNG αποτελεί μία γρήγορη λύση για την ικανοποίηση της ζήτησης στην Ευρώπη. Το μεγαλύτερο μέρος εισάγεται και εισέρχεται στην Ευρώπη από την Ισπανία, τη Βρετανία τη Γαλλία, την Πορτογαλία και το Βέλγιο. Κυρίως η Ισπανία και η Πορτογαλία καλύπτουν σχεδόν τις μισές εισαγωγές αερίου με LNG. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2014-stress tests) οι χώρες οι οποίες έχουν πρόσβαση στο LNG ως εναλλακτική βρίσκονται σε μικρότερο κίνδυνο από τις υπόλοιπες οι οποίες στηρίζονται κυρίως στις εισαγωγές από τη Ρωσία. Κλασικό παράδειγμα αποτελεί η Λιθουανία που καταπολέμησε τις μονοπωλιακές τιμές της Gazprom με το νέο σταθμό LNG στο Klaipeda.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στρέφεται προς την ευρωπαϊκή στρατηγική για το LNG, ένα από τα πολλά μέτρα του ενεργειακού πακέτου για τη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας και της διαφοροποίησης των προμηθευτών.

3.3.8 Αγορά Φυσικού Αερίου

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.

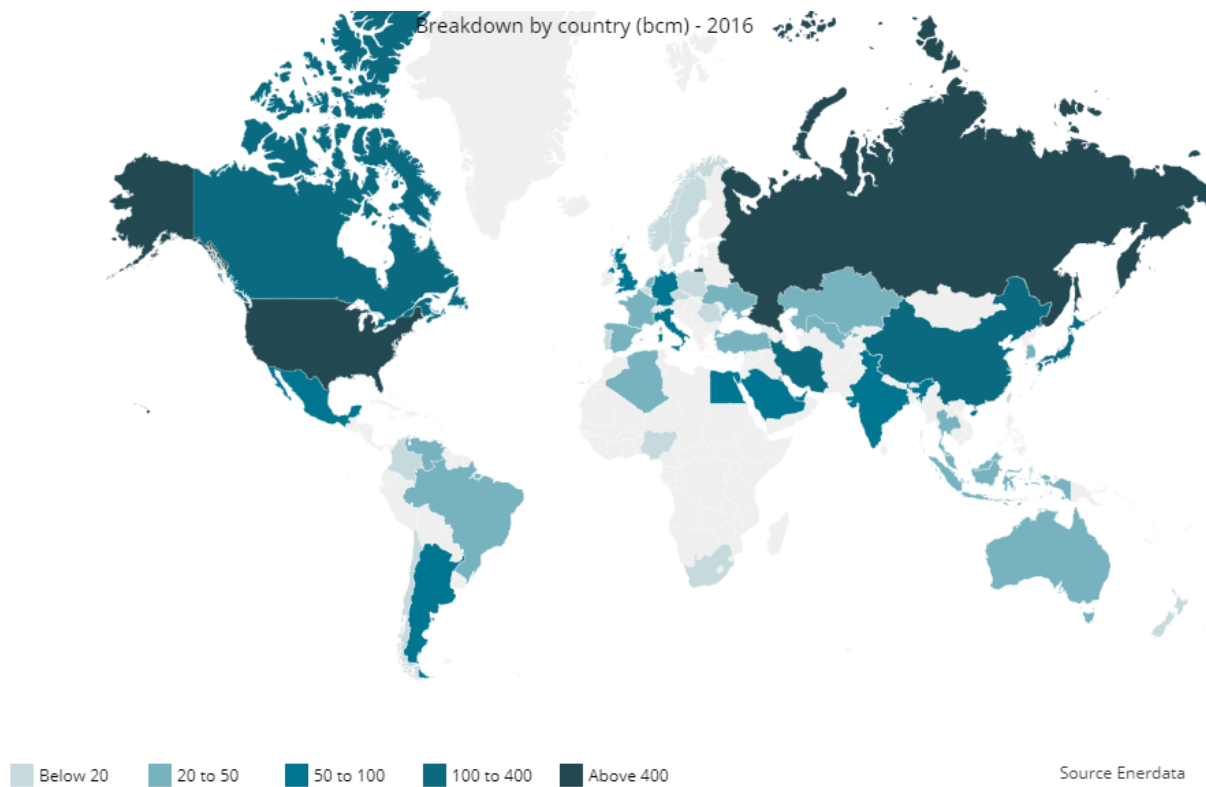
Οι αγορές αερίου λειτουργούν είτε σε εθνικό είτε σε περιφερειακό επίπεδο. Η διαφορά αυτή οφείλεται στα έξοδα για τη μεταφορά του αερίου. Η μεταφορά του από ήπειρο σε ήπειρο που συνήθως δεν διαθέτουν αγωγούς για μεταξύ τους διασύνδεση απαιτεί την μετατροπή σε υγροποιημένο αέριο (LNG) και τερματικά υγροποίησης. 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 του 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.



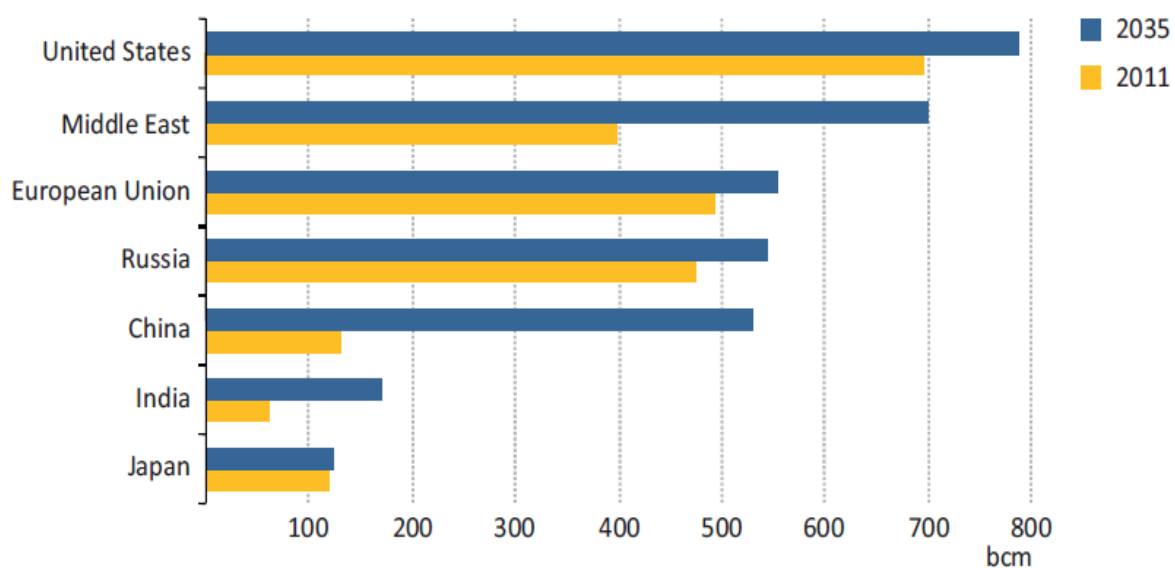
Σχήμα 12: Παγκόσμιος χάρτης κατανάλωσης Φυσικού Αερίου.^[34]

Πίνακας 2: Κατανάλωση Φυσικού Αερίου.

United States	782
Russia	423
China	203
Iran	188
Japan	127
Canada	111
Germany	91
Saudi Arabia	90
United Kingdom	82
United Arab Emirates	74
Italy	71
Mexico	70

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.



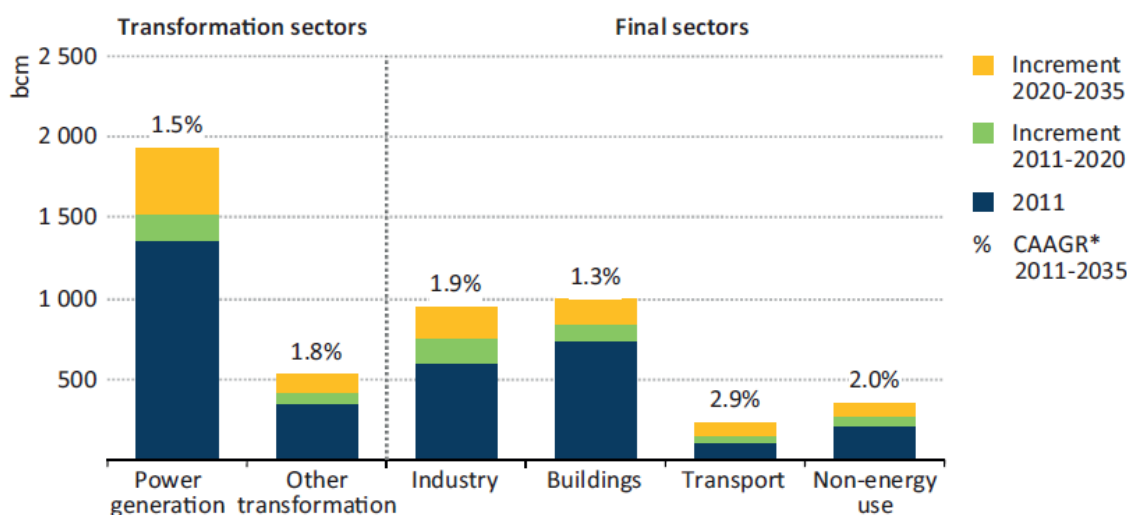
Σχήμα 13: Η ζήτηση Φυσικού Αερίου σύμφωνα με το New Policies Σενάριο για το έτος 2035.^[35]

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).



* Compound average annual growth rate.

Σχήμα 14: Η παγκόσμια ζήτηση Φυσικού Αερίου ανά τομέα σύμφωνα με το New Policies Σενάριο.^[35]

Τάσεις Προσφοράς Φυσικού Αερίου

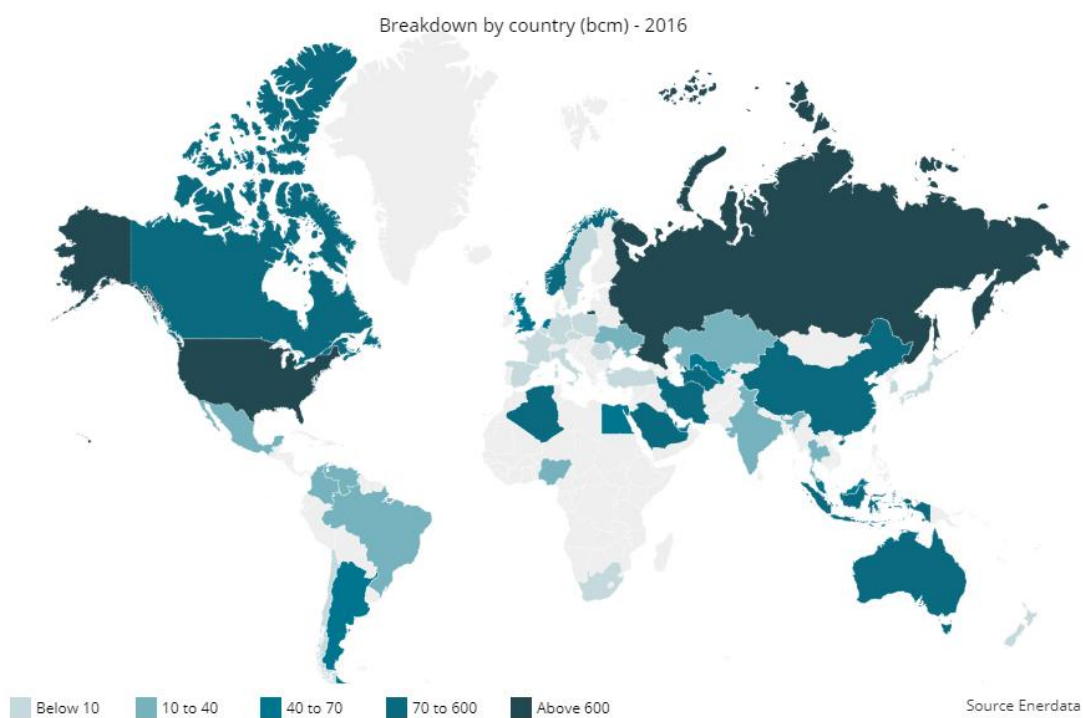
Οι διαθέσιμοι πόροι φυσικού αερίου είναι περισσότερο από αρκετοί για να ικανοποιήσουν τα πιθανά επίπεδα ζήτησης φυσικού αερίου για τις επόμενες δεκαετίες. Τα αποδεδειγμένα αποθέματα ανέρχονταν σε 187tcm στο τέλος του 2012 σύμφωνα με έρευνα της BP^[36].

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 απότομη 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 υπάρξει 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.

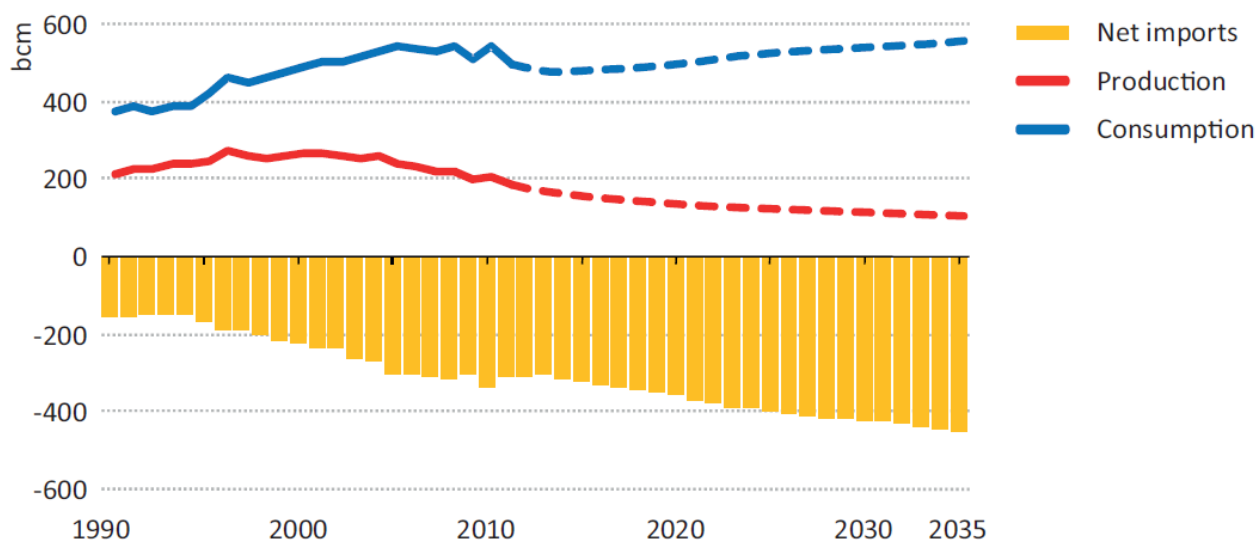
Παρά τη σχετικά μικρή αύξηση της ζήτησης, η ανάγκη εισαγωγής αερίου στην Ευρώπη αυξάνεται πιο έντονα, καθώς η παραγωγή υποχωρεί στην ήπειρο (η Νορβηγία είναι η σημαντική εξαίρεση). Στην περίπτωση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η ανάγκη εισαγωγής φυσικού αερίου αυξάνεται, φθάνοντας τα 450bcm μέχρι το 2035. Η 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.



Σχήμα 15: Παγκόσμιος χάρτης παραγωγής Φυσικού Αερίου.^[34]

Πίνακας 3: Παραγωγή Φυσικού Αερίου ανά χώρα.

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 16: Ισοζύγιο Φυσικού Αερίου στην Ευρώπη σύμφωνα με το New Policies Σενάριο. ^[35]

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 ^[37]:

- 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 17: Τα ποσοστά εμπορευόμενου Φυσικού Αερίου ανάλογα με το μηχανισμό διαμόρφωσης τιμής^[38]

3.3.9 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.

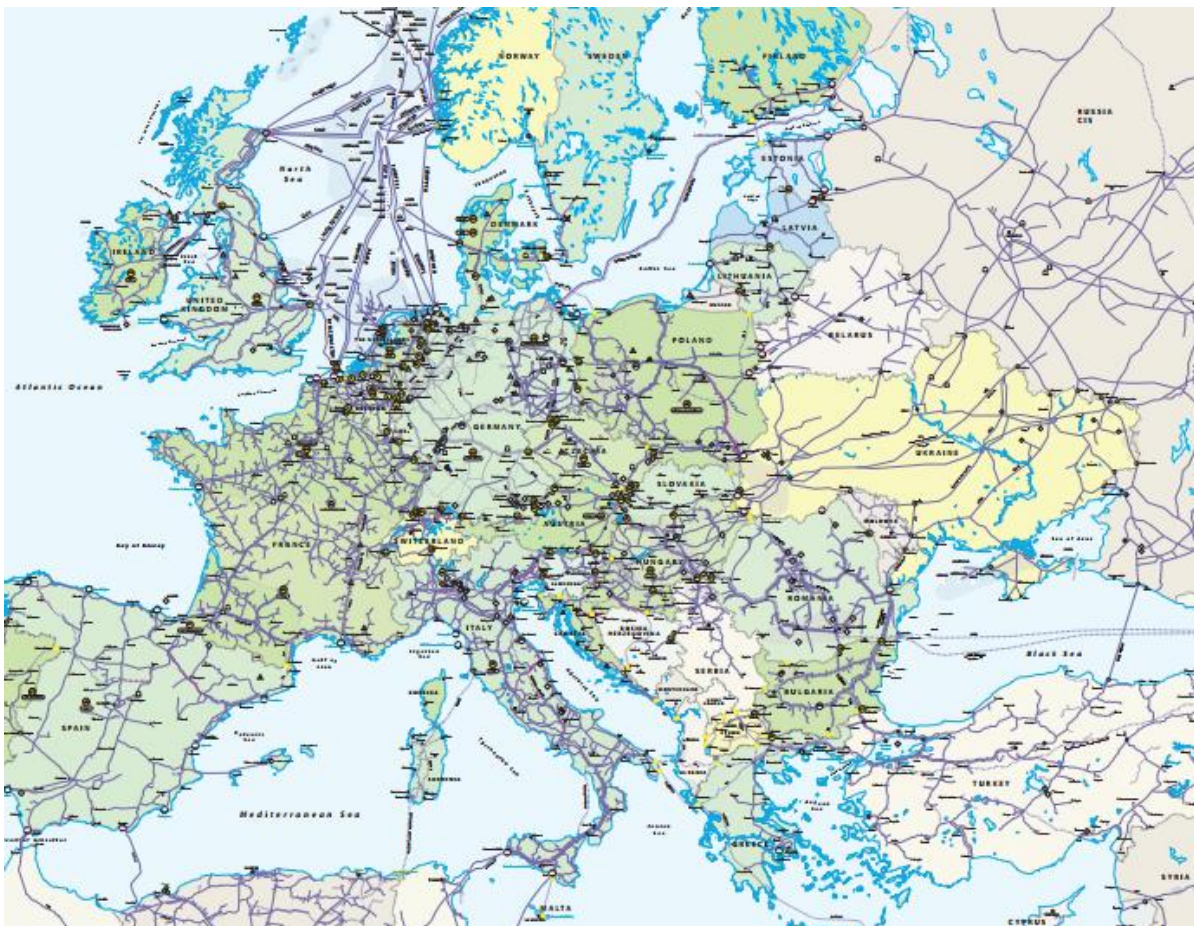
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Δίκτυο Αγωγών Φυσικού Αερίου στην Ευρώπη

4.1 Περιγραφή υφιστάμενου δικτύου

Στην παρούσα διπλωματική εργασία 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.

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).



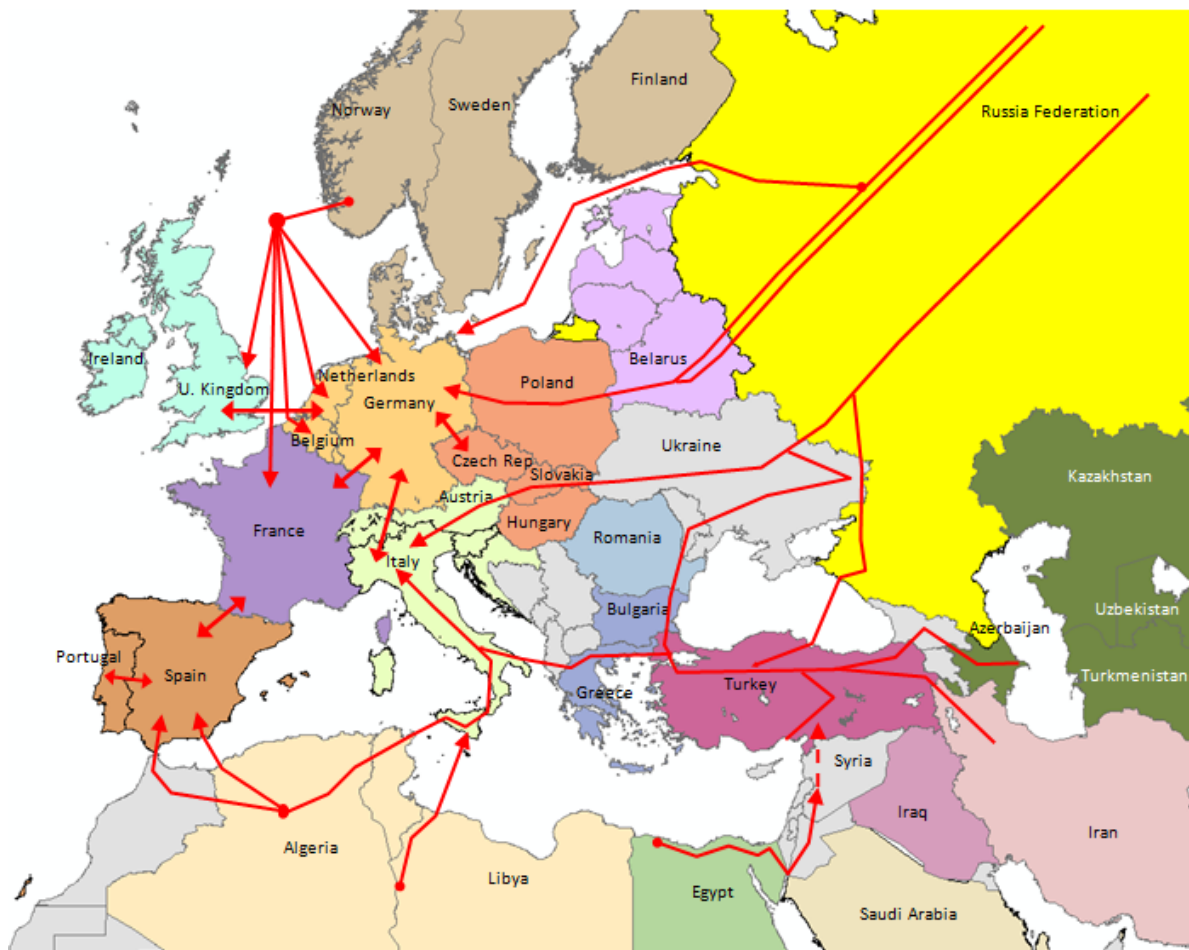
Σχήμα 18: Το Ευρωπαϊκό δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου. ^[39]

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:

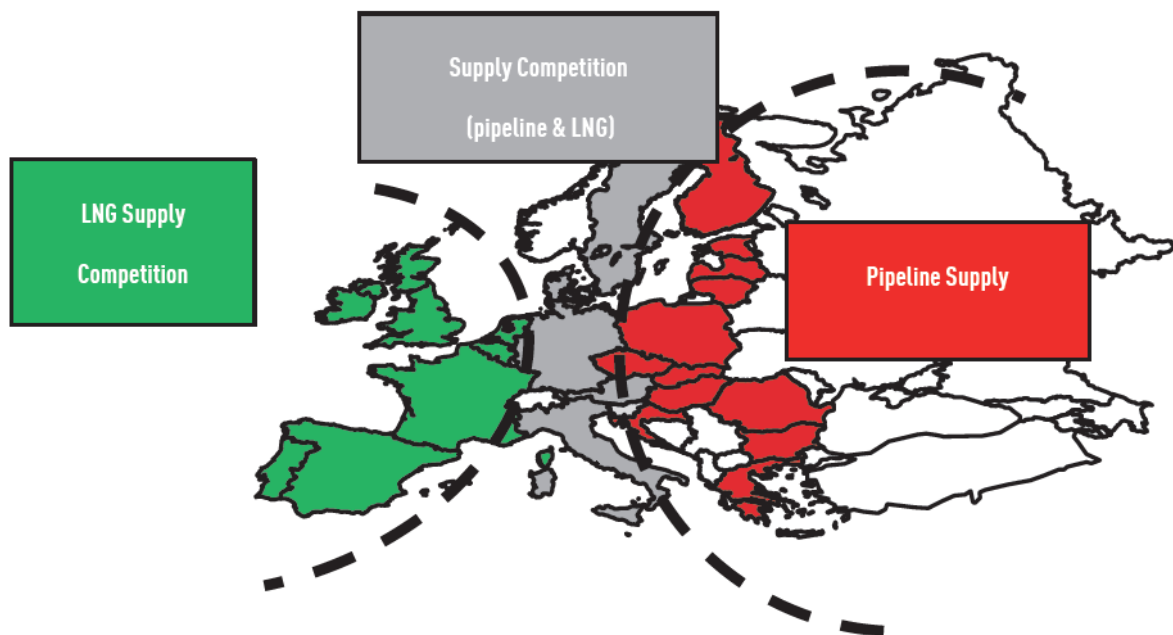
- από τη Ρωσία
- από την περιοχή της Βόρειας Θάλασσας και
- από την Αφρική
- από τη Μέση Ανατολή



Σχήμα 19: 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 ποιά 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 Λεττονία, η Λιθουανία κλπ. στην Ευρώπη οι αγωγοί από τη Ρωσία αναπτύχθηκαν στο θέμα των υποδομών. Έτσι σήμερα οι χώρες στην ανατολική Ευρώπη έχουν εγκλωβιστεί στο μονοπώλιο της Ρώσικης

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 20: Η τμηματοποίηση της Ευρωπαϊκής αγοράς αερίου.^[40]

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.

4.1.1 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.^[41] Μάλιστα ορισμένες χώρες έχουν υψηλή εξάρτηση όπως η Λιθουανία (ποσοστό εξάρτησης 100%), η Εσθονία (100%), η Φιλανδία (100%) ενώ η Ελλάδα εισάγει το 56% του αερίου από τη Ρωσία. Ο επόμενος χάρτης απεικονίζει την εξάρτηση που περιγράφηκε παραπάνω.



Σχήμα 21: Σχηματική απεικόνιση της εξάρτησης εισαγωγής φυσικού αερίου από τη Ρωσία.^[42]

Τα βασικά κοιτάσματα της Ρωσίας βρίσκονται στις περιοχές της Σιβηρίας, περιλαμβάνοντας την περιοχή Urengoy και στην περιοχή Novorossiysk. 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 για 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 22: Τα σημεία εισόδου και εξόδου του ρώσικου αερίου μέσω της Ουκρανίας.^[43]

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 23: Κύριοι αγωγοί τροφοδοσίας Ευρώπης με προέλευση τη Ρωσία.^[44]

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. Στη Γερμανία το αέριο που φτάνει διανέμεται μέσω των διασυνδεδεμένων αγωγών Nel και Opal. 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 σχεδιάζονταν σε αρχικό στάδιο από το 1997).^[45]

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 24: Ο αγωγός φυσικού αερίου Nord Stream.

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 απ τις οποίες παραδοσιακά περνούσε το ρώσικο 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 (Tazhok) 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.^[46]

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, Szamotuly, Zambrow, Wloclawek 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.^[47]



Σχήμα 25: Ο αγωγός φυσικού αερίου Yamal-Europe.^[48]

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:^[49]

- 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 26: Ο αγωγός φυσικού αερίου Northern Lights^[50]

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.^[51] 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 Novorokon 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).^[52]

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 Beregonaya 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.^[53]



Σχήμα 27: Ο αγωγός φυσικού αερίου Blue Stream.^[54]

⊗ 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 χωρίο Kiyikoy.

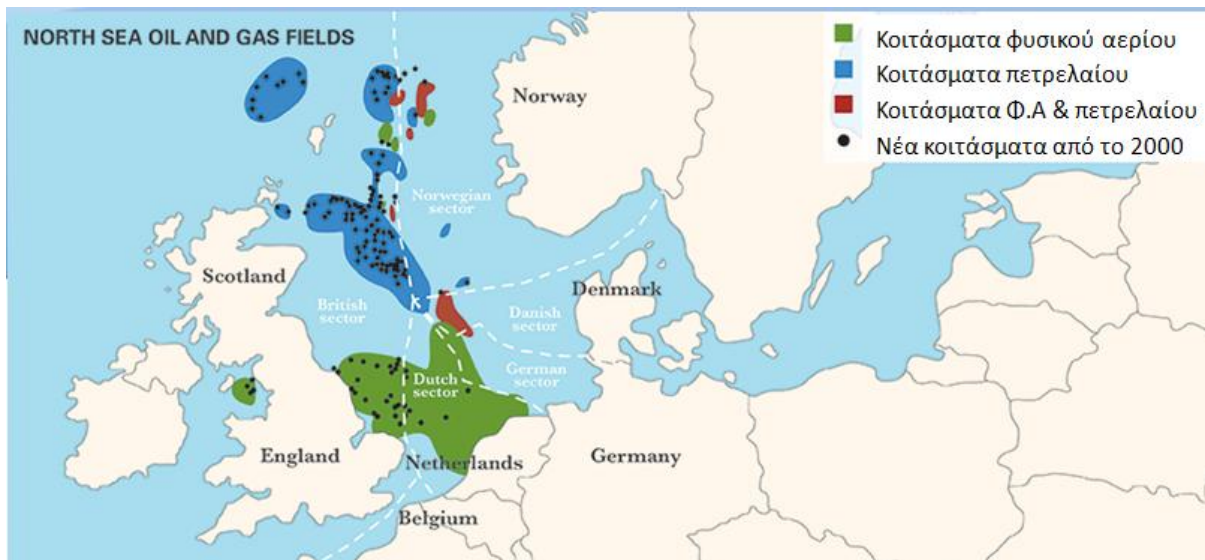
Η αναμενόμενη δυναμικότητα θα φτάνει στο σύνολο 31.5bcm εκ των οποίων τα 14bcm θα καταναλώνονται από την Τουρκία.



Σχήμα 28: Οι αγωγοί Turkish Stream και South Stream (που ακυρώθηκε).^[55]

4.1.2 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.

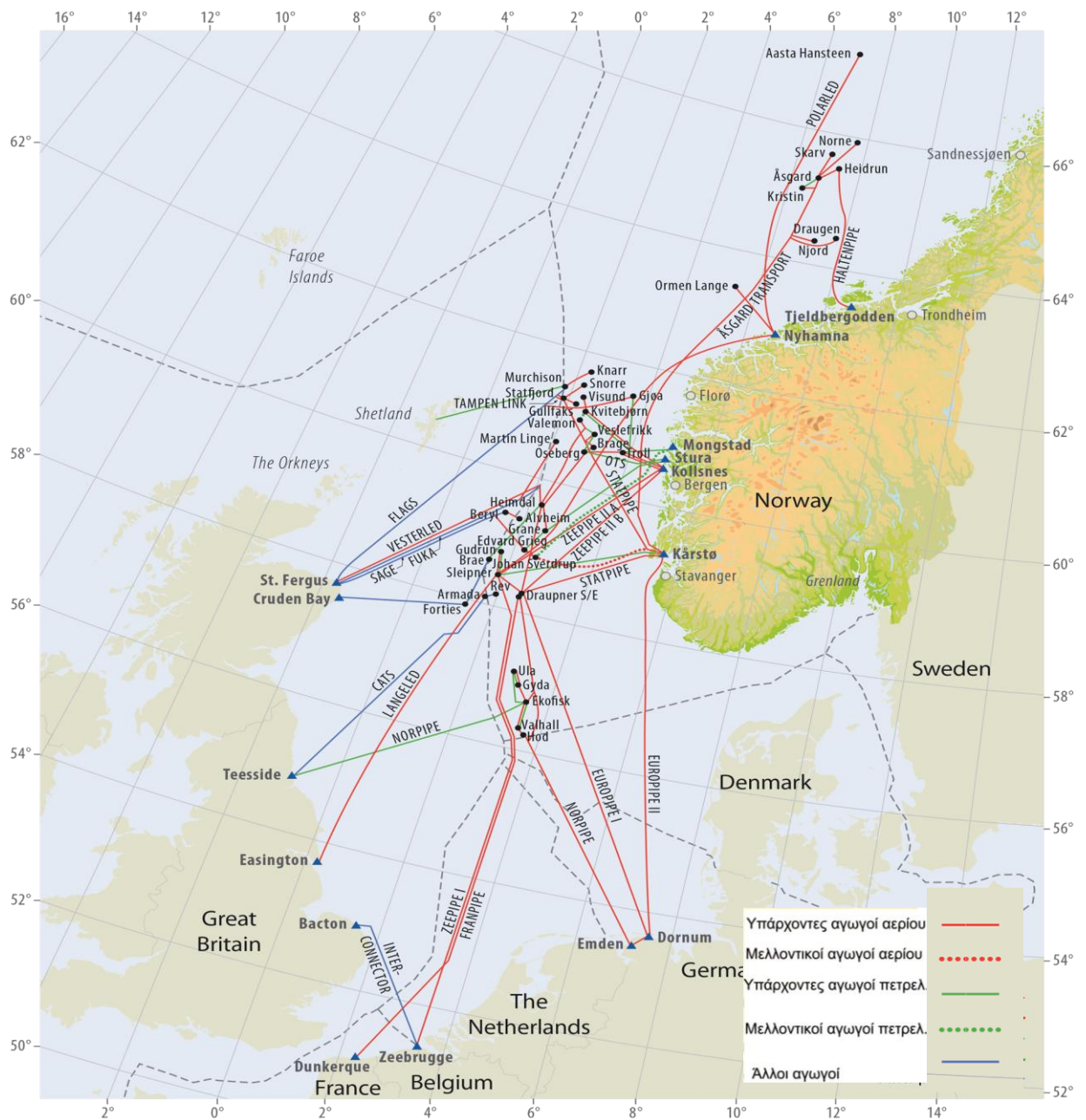


Σχήμα 29: Τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας.

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.^[56]



Σχήμα 30: Το σύστημα αγωγών φυσικού αερίου από τη Βόρεια θάλασσα.^[57]



Σχήμα 31: Χάρτης του μεγάλου κοιτάσματος Groningen.^[58]

Οι βασικοί αγωγοί είτε μεταφέρουν φυσικό αέριο από τα κοιτάσματα στις χώρες κατανάλωσης, είτε μεταφέρουν αέριο μεταξύ των χωρών της Βόρειας θάλασσας όπως ο αγωγός Nogat που τροφοδοτεί την Ολλανδία αλλά και συνδέει υποθαλάσσια τη Δανία και τη Γερμανία, είτε μεταφέρουν από ένα σημείο σε ένα άλλο της Βόρειας Θάλασσας όπως ο αγωγός Flaga. Ακολούθως θα περιγραφούν οι κύριοι αγωγοί που μεταφέρουν το αέριο από τα κοιτάσματα της Β. Θάλασσας.

Αγωγός φυσικού αερίου Frigg

Ο αγωγός Frigg αποτελεί τον κύριο αγωγό ενός συστήματος αγωγών υπεύθυνο να μεταφέρει φυσικό αέριο από τη Βόρεια Θάλασσα στο St. Fergus κοντά στη Σκωτία. Η κατασκευή του ξεκίνησε το 1974 και ολοκληρώθηκε το 1977.

Επειδή το κοιτάσμα Frigg βρίσκεται μεταξύ της Μεγάλης Βρετανίας και της Νορβηγίας συνεπώς ανήκει και στις δύο χώρες. Ανακαλύφθηκε το 1971. Εταιρείες και από τις δύο χώρες είναι υπεύθυνες για το έργο. Έτσι κατασκευάστηκε διπλός αγωγός, ένας για κάθε χώρα, μήκους 370 χιλιομέτρων και βάθους μεταξύ 100-150m, που αποτέλεσε μεγάλο τεχνολογικό επίτευγμα για την εποχή. Τόσο μεγάλος αγωγός και σε τέτοιο βάθος εκείνη την εποχή δεν γίνονταν.

Παραδοσιακά μεταφερόταν αέριο μόνο από αυτό το κοιτάσμα. Όμως, σταδιακά καθώς η παραγωγή από κει μειώθηκε προστέθηκαν και νέοι αγωγοί στο σύστημα και παρά το γεγονός ότι η παραγωγή από το κοιτάσμα αυτό σταμάτησε το σύστημα που δημιουργήθηκε

βρίσκεται ακόμη εν λειτουργία. Τα κοιτάσματα που το σύστημα μπορεί να εξυπηρετήσει είναι Alwyn North, Dunbar, Ellon, Grant, Nuggets, Frigg, Bruce, Ross, Captain, Buzzard, Tartan, Piper, Chanter, Galley, Hamish, Highlander, Ivanhoe, MacCulloch, Petronella, Saltire, και Rob Roy.^[59]



Σχήμα 32: Το σύστημα μεταφοράς Frigg.

Αγωγός φυσικού αερίου Vesterled

Ο Vesterled είναι ένας αγωγός που ξεκινά από την πλατφόρμα Heimdahl Riser και καταλήγει στο St. Fergus της Σκωτίας. Το όνομά του σημαίνει "ο δρόμος προς τα δυτικά" σύμφωνα με τους Βίκινγκς.

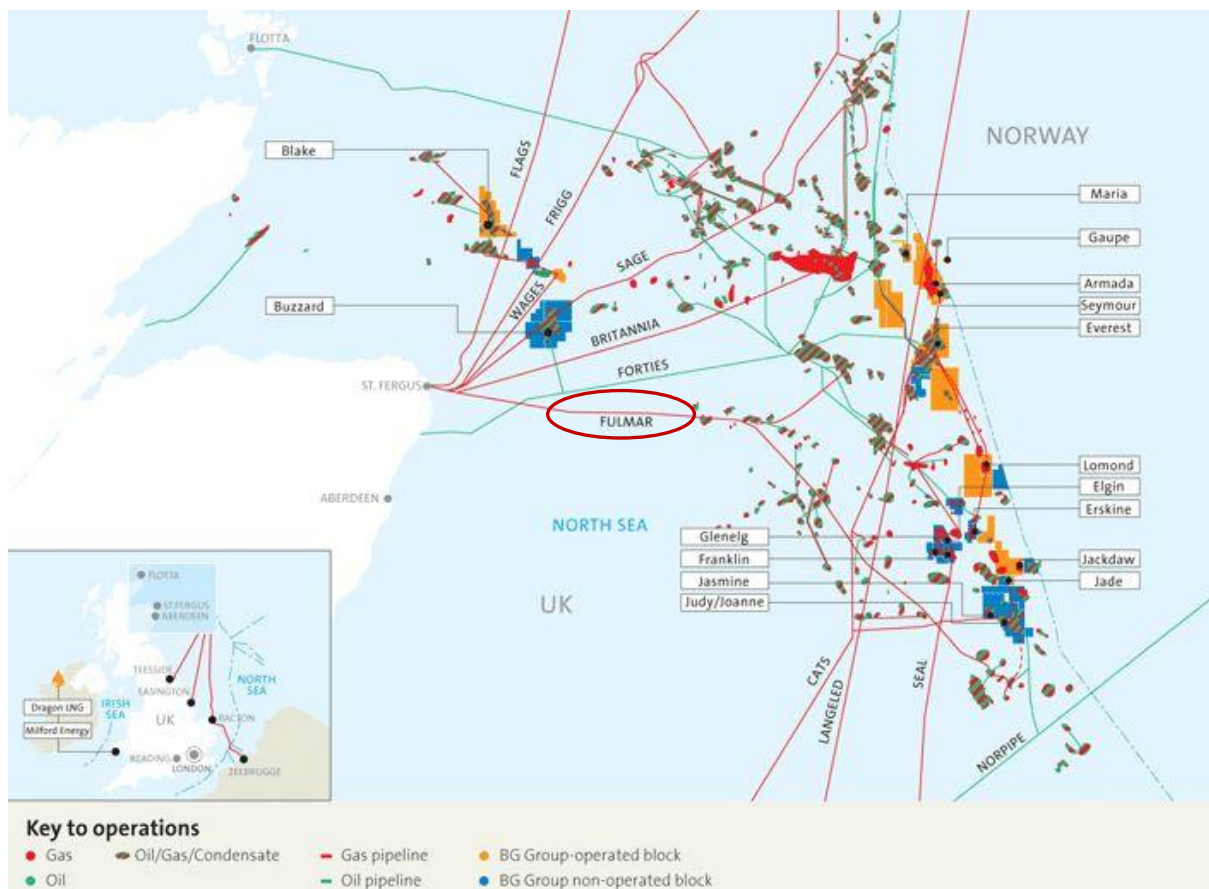
Ο αγωγός αυτός ξεκίνησε να λειτουργεί το 2001 και ένωνε το Heimdahl Riser με τον αγωγό Frigg Norwegian Pipeline (FNP), που περιγράφηκε παραπάνω. Με τη δημιουργία του νέου αγωγού το όνομα Frigg σταμάτησε να χρησιμοποιείται και η κοινοπραξία Gassled όταν δημιουργήθηκε το 2003 απορρόφησε το σύστημα αγωγών Vesterled.^[60]

Αγωγός φυσικού αερίου Fulmar

Ο αγωγός αυτός μεταφέρει φυσικό αέριο από το κεντρικό τμήμα της Βόρειας Θάλασσας στο St. Fergus. Πρόκειται για ένα τερματικό σταθμό στη βορειοανατολική ακτή της Σκωτίας και αποτελεί το σημείο όπου υποδέχεται πολλούς αγωγούς.

Έχει μήκος 290 χιλιόμετρα και διάμετρο 510mm. Η ετήσια ικανότητα μεταφοράς του είναι 4.4bcm. Αποτελεί ιδιοκτησία και λειτουργείται από την Shell και την Esso της Μ. Βρετανίας.

Ξεκίνησε να λειτουργεί το 1986 και αρχικά προμηθευόταν φυσικό αέριο από τα κοιτάσματα Fulmar και Clyde. Στην πορεία όμως ενώθηκε και με άλλα κοιτάσματα ο αγωγός όπως το Kittiwake, Gannet, Nelson, Anasuria, Curlew, και Triton.^[61]



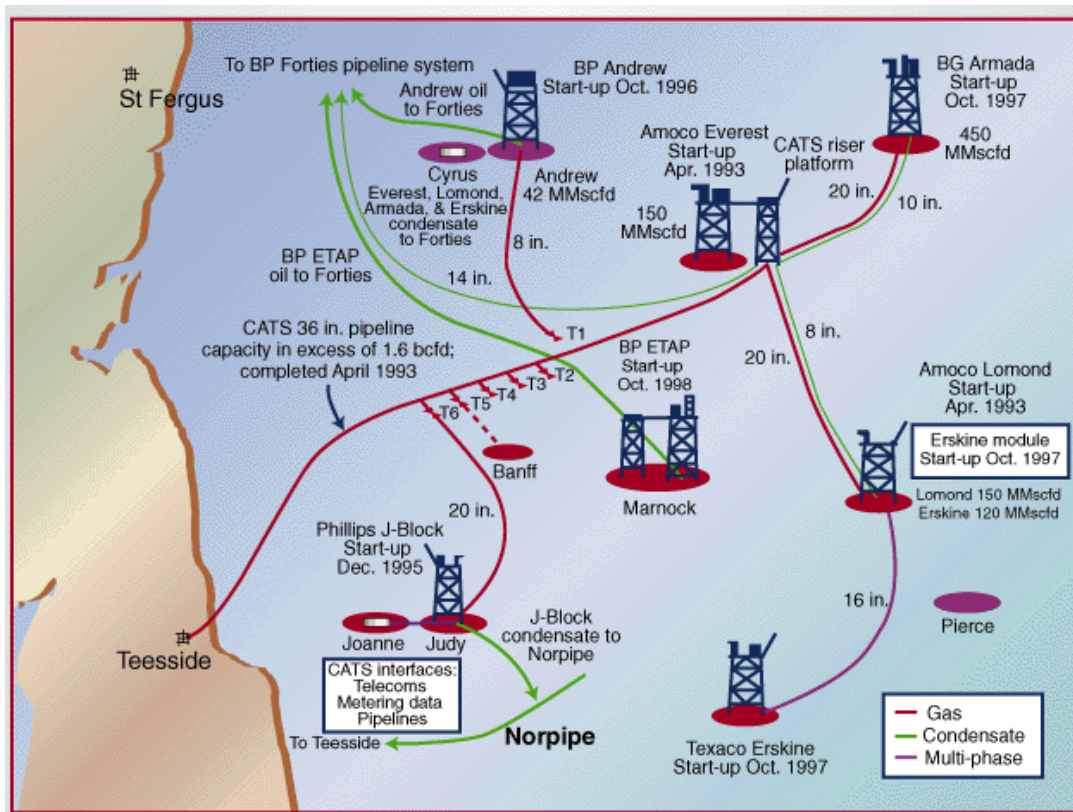
Σχήμα 33: Ο αγωγός φυσικού αερίου Fulmar.⁶²

Αγωγός φυσικού αερίου Cats

Πρόκειται για ένα σύστημα υποθαλάσσιων αγωγών που μεταφέρουν φυσικό αέριο από το κεντρικό τμήμα της Βόρειας Θάλασσας, την πλατφόρμα Riser στον τερματικό σταθμό επεξεργασίας Teeside στην Βορειοανατολική Αγγλία. Από το σημείο αυτό, ο αγωγός μέσω του σταθμού Beach περνά 8 χιλιόμετρα μακριά και φτάνει στον τερματικό σταθμό στο Seal Sands.

Έχει μήκος 404 χιλιόμετρα και διάμετρο 36 ίντσες. Εξυπηρετεί πάνω από 30 σημεία κοιτασμάτων και το 2016 τροφοδότησε την Αγγλία με 5bcm αερίου. Αρχικά, σχεδιάστηκε

να μεταφέρει αέριο από τα κοιτάσματα του Everest και Lomond .Μπορεί να μεταφέρει 48mcm την ημέρα. Η κατασκευή του αγωγού ολοκληρώθηκε το 1993.



Σχήμα 34: Το σύστημα αγωγών φυσικού αερίου CATS^[63]

Υπάρχουν έξι σημεία σύνδεσης όπου οι πάροχοι μπορούν να συνδεθούν υποθαλάσσια σε όποιο σημείο επιλέξουν. Ενώ μπορούν να συνδεθούν και στους κόμβους (Hubs) που ήδη υπάρχουν. Αυτό συνέβη επειδή αυξήθηκε η ζήτηση στην κεντρική Βόρεια Θάλασσα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται και εύκολη διασύνδεση και αδιάκοπη λειτουργία του αγωγού.^[64]

Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κομμάτι των υποδομών αερίου στη Βόρεια Θάλασσα που λειτουργεί 20 χρόνια και θα συνεχίσει να λειτουργεί για τουλάχιστον άλλα 20. Διαθέτει όλα τα απαραίτητα μέσα ώστε κανένα ατύχημα δεν έχει συμβεί.

Αγωγός φυσικού αερίου Statpipe

Ο Statpipe μεταφέρει φυσικό αέριο από το βόρειο τμήμα της Βόρειας θάλασσας στο σύστημα εξαγωγών της Νορβηγίας. Το σύστημα αγωγών τροφοδοτείται από τα κοιτάσματα Statfjord, Gullfaks, Heimdal, Veslefrikk, Snorre, Brage, Tordis και Statfjord.

Το μήκος του συστήματος αγωγών ανέρχεται στα 890 χιλιόμετρα. Τα 308 χιλιόμετρα είναι αγωγός που ξεκινά από το Statfjord και φτάνει στο Karsto με διάμετρο 760mm και ετήσια δυναμικότητα 9.7bcm. Το πρώτο μέρος του συστήματος από το Karsto στο Draupner έχει μήκος 228 χιλιόμετρα και διάμετρο 710mm, μεταφέροντας 7.6bcm ενώ το δεύτερο είναι

155 χιλιόμετρα ξεκινώντας από την πλατφόρμα Heimdal. Έχει διάμετρο 910 mm και μπορεί να μεταφέρει 11bcm το χρόνο.^[65]

Ο αγωγός κατασκευάστηκε από την Statoil και το 2003 η Gassco έγινε η λειτουργός του αγωγού. Το 1998 ο αγωγός συνδέθηκε με τον αγωγό Norpipe.

Αγωγός φυσικού αερίου Franpipe

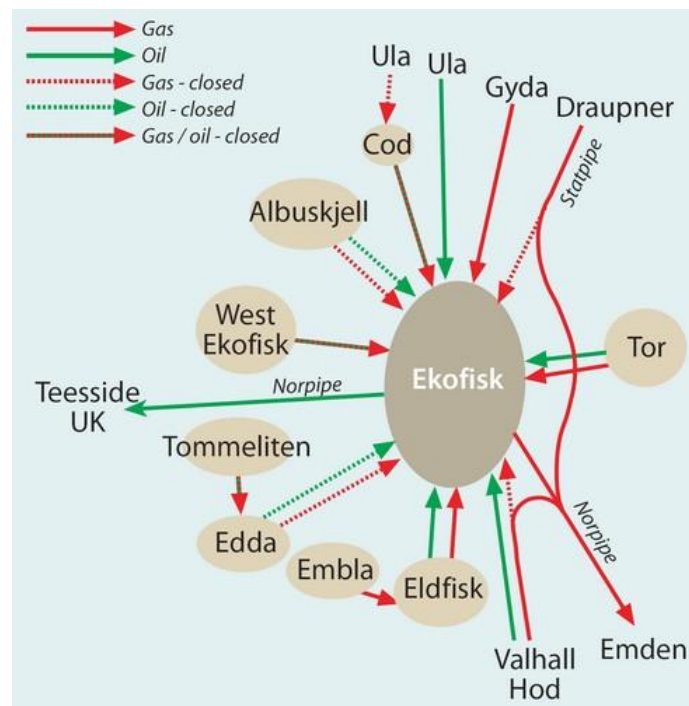
Ο αγωγός αυτός ξεκινά από την πλατφόρμα Drupner E Riser στη Βόρεια Θάλασσα και καταλήγει στον τερματικό σταθμό στην Δουνκέρκη στις ακτές της Γαλλίας.

Έχει μήκος 840 χιλιόμετρα και διάμετρο 1067mm. Η ετήσια ικανότητα μεταφοράς φυσικού αερίου ανέρχεται στα 19.6bcm. Ο τεχνικός πάροχος του αγωγού είναι η Statoil ενώ ο λειτουργός του είναι η Gasco. Τα κοιτάσματα που τροφοδοτούν τον αγωγό είναι κυρίως τα Sleipner East και Troll Vest.^[66]

Το έργο ανήκει στη Gassled και κόστισε 10.6 NOK (Norwegian Krone).

Αγωγός φυσικού αερίου Norpipe

Πρόκειται για υποθαλάσσιο αγωγό που μεταφέρει πετρέλαιο και αέριο από τη Βόρεια Θάλασσα. Μεταφέρει πετρέλαιο στη Μεγάλη Βρετανία και φυσικό αέριο στη Γερμανία ενώ η λειτουργία του ξεκίνησε το 1977.



Σχήμα 35: Ο αγωγός πετρελαίου και φυσικού αερίου Norpipe.^[67]

Ο αγωγός ξεκινά από το Ekofisk που αποτελεί πολύ σημαντικό κόμβο κοιτασμάτων τόσο για πετρέλαιο όσο και για φυσικό αέριο. Έχει διάμετρο 914mm και μήκος 443 χιλιόμετρα. Διασχίζει το νησί Juist θαμμένος πριν φτάσει στο Emden της Γερμανίας. Επίσης μεταφέρει

αέριο και από τα κοιτάσματα Valhall, Hod και Gyda. Ο αγωγός μπορεί να μεταφέρει 16bcm ετησίως.^[68]

Ο λειτουργός του αγωγού είναι η Gasco και ο τεχνικός πάροχος η ConocoPhillips.

Αγωγός φυσικού αερίου Europipe I

Είναι ένας αγωγός μεταφοράς φυσικού αερίου που ξεκινά από την πλατφόρμα Draupner E Riser στη Βόρεια Θάλασσα και καταλήγει στον τερματικό σταθμό στο Dornum στα Γερμανικά παράλια. Το φυσικό αέριο του αγωγού προέρχεται από τα κοιτάσματα Sleiper και Troll. Ο τερματικός σταθμός στο Dornum συνδέεται με το σταθμό στο Emden με αγωγό μήκους 48 χιλιομέτρων και διάμετρο 42 ιντσών.

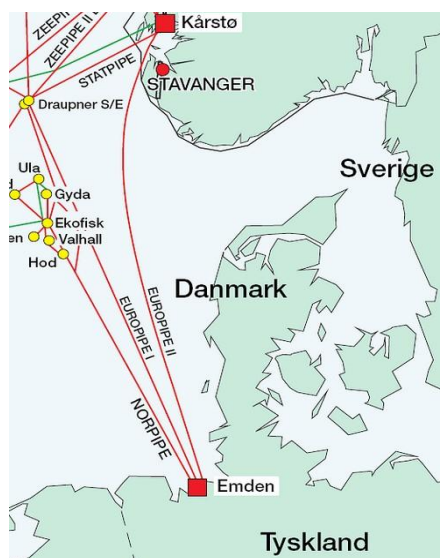
Έχει εσωτερική διάμετρο 1016mm και συνολικό μήκος 620 χιλιόμετρα. Η δυναμικότητα του αγωγού ετησίως φτάνει τα 18bcm. Στο τελευταίο τμήμα του αγωγού περνάει μέσα από ένα τούνελ, όπου με ειδική μηχανή περνά κάτω από την προστατευόμενη ζώνη Wattenmeer και για μήκος 2.531 μέτρα.

Ο αγωγός ξεκίνησε να λειτουργεί το 1995. Ένα παράλληλο τμήμα του αγωγού με το τούνελ κατασκευάστηκε που αργότερα θα μπορούσε να φέρει τη γραμμή το Europipe II. Στο Draupner ο αγωγός συνδέεται με τους αγωγούς Zeepipe, Statpipe και Norpipe.

Τον αγωγό λειτουργεί η Gasco και το κόστος του ήταν 21.3 εκατομμύρια NOK.^[69]

Αγωγός φυσικού αερίου Europipe II

Είναι ένας αγωγός μεταφοράς φυσικού αερίου που μεταφέρει αέριο από το Kårstø στον τερματικό σταθμό Dornum στη βόρεια Γερμανία



Σχήμα 36: Οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου Europipe I και Europipe II.^[70]

Το αέριο παρέχεται από τα κοιτάσματα Åsgard, Sleipner East/West, Gullfaks και Statfjord. Έχει συνολικό μήκος 658 χιλιόμετρα και διάμετρο 1067mm. Τα πρώτα 13 χιλιόμετρα του αγωγού είναι επίγεια από το Kårstø στο Vestre Bokn. Από εκεί, αρχίζει το υποθαλάσσιο

τμήμα του αγωγού μήκους 642 χιλιομέτρων που διασχίζει το νορβηγικό, δανέζικο και γερμανικό τμήμα στη Βόρεια Θάλασσα. Στο χερσαίο κομμάτι ο αγωγός έχει 15 χιλιόμετρα μήκος. Στο Dornum το αέριο τροφοδοτεί τον αγωγό φυσικού αερίου Netra, ο οποίος καταλήγει στο Salzwedel στην ανατολική Γερμανία Μπορεί να μεταφέρει έως και 24bcm ετησίως. Λειτουργός του αγωγού είναι η Gasco ενώ ο τεχνικός πάροχος η Statoil.

Ο αγωγός ξεκίνησε να λειτουργεί το 1999. Η κατασκευή του κόστισε 9.6 εκατομμύρια ΝΟΚ.^[71]

Αγωγός φυσικού αερίου Zeepipe^[72]

Πρόκειται για έναν αγωγό που συνδέει τα κοιτάσματα της Βόρειας θάλασσας με το Zeebrugge του Βελγίου.



Σχήμα 37: Ο αγωγός μεταφοράς φυσικού αερίου Zeepipe.^[73]

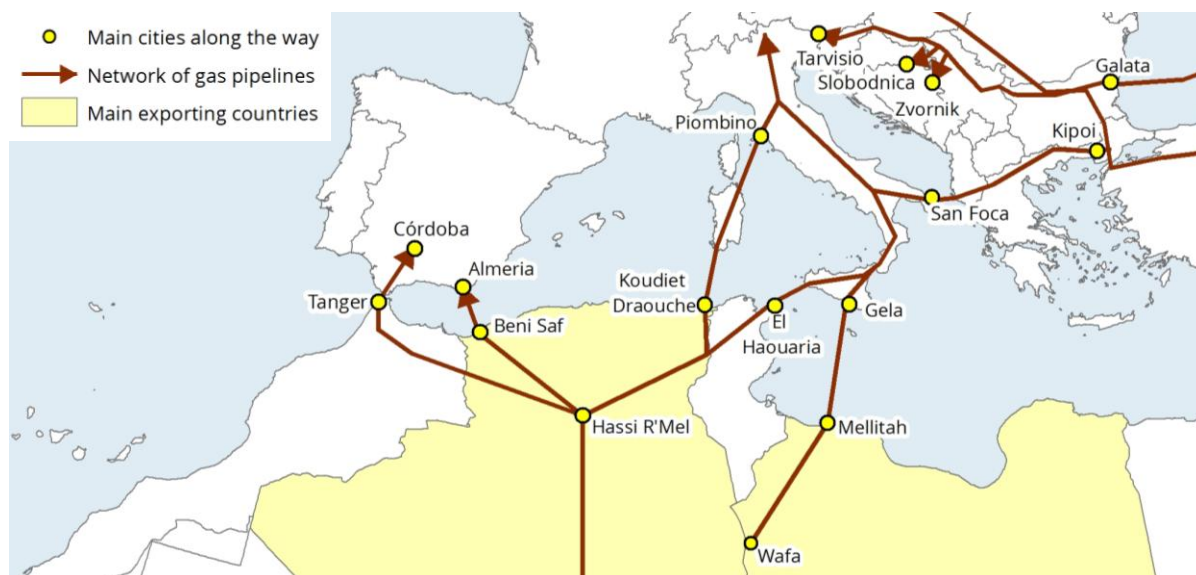
Η κατασκευή του αγωγού ολοκληρώθηκε σε διάφορες φάσεις. Η πρώτη φάση περιλάμβανε την κατασκευή ενός αγωγού που ξεκινούσε από το Sleipner της Βόρειας θάλασσας έως το Zeebrugge (Zeepipe I). Είχε διάμετρο 1016mm και μήκος 814 χιλιόμετρα. Επιπροσθέτως δημιουργήθηκε μια γραμμή 30 χιλιομέτρων και 762mm από το Sleipner στην πλατφόρμα Draupner S και συνδέθηκε ο αγωγός με τον Statpipe. Η μεταφορική ικανότητα του αγωγού ήταν 15bcm. Η λειτουργία του αγωγού ξεκίνησε το 1993.

Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει το Zeepipe IIA (έναρξη λειτουργίας 1996), έναν αγωγό 303 χιλιομέτρων μήκους που ξεκινά από το σταθμό επεξεργασίας αερίου Troll στο Kollsnes στο Sleipner και τον Zeepipe IIB (έναρξη λειτουργίας 1997) που είχε μήκος 304 χιλιόμετρα από το Kollsnes στο Draupner E. Η ετήσια δυναμικότητα του Zeepipe IIA είναι 26.3bcm ενώ του Zeepipe IIB είναι 25.9.

Ο λειτουργός του αγωγού είναι η Gasco ενώ ο πάροχος τεχνικών υπηρεσιών η Statoil.

4.1.3 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 38: Βασικές διαδρομές αγωγών φυσικού αερίου από την Β. Αφρική.^[74]

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.^[75] 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.^[4] 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 εξάγει 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

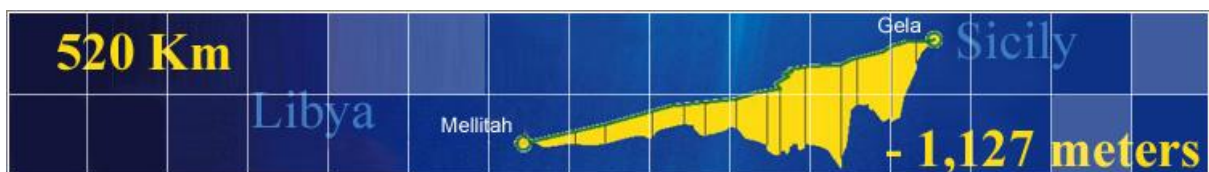
Ο αγωγός αυτός αποτελεί έναν υποθαλάσσιο αγωγό που συνδέει τη δυτική Λιβύη με τη Σικελία της Ιταλίας. Αποτελεί μέρος του κύριου προγράμματος εκμετάλλευσης αερίου που παράγεται στη Λιβύη. Ξεκινά χερσαίος αγωγός από την περιοχή Wafa της Λιβύης ενώ το υποθαλάσσιο τμήμα του ξεκινά από την περιοχή Mellitah. 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 Βουρί 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.^[76]

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



Σχήμα 39: Ο αγωγός φυσικού αερίου GreenStream.^[77]

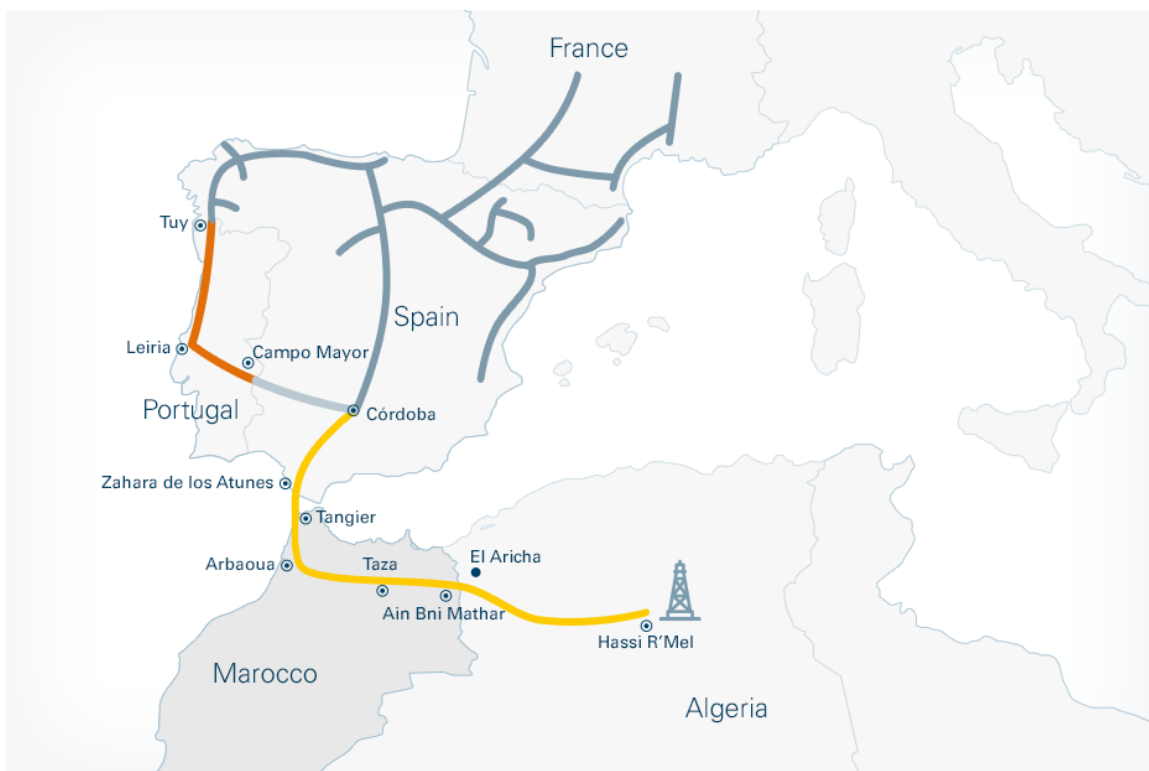


Σχήμα 40: Το βάθος του αγωγού φυσικού αερίου GreenStream.^[78]

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.^[79]



Σχήμα 41: 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.^[80]

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 %^[81]

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 42: Ο αγωγός φυσικού αερίου Trans Mediterranean.^[82]

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.^[83]

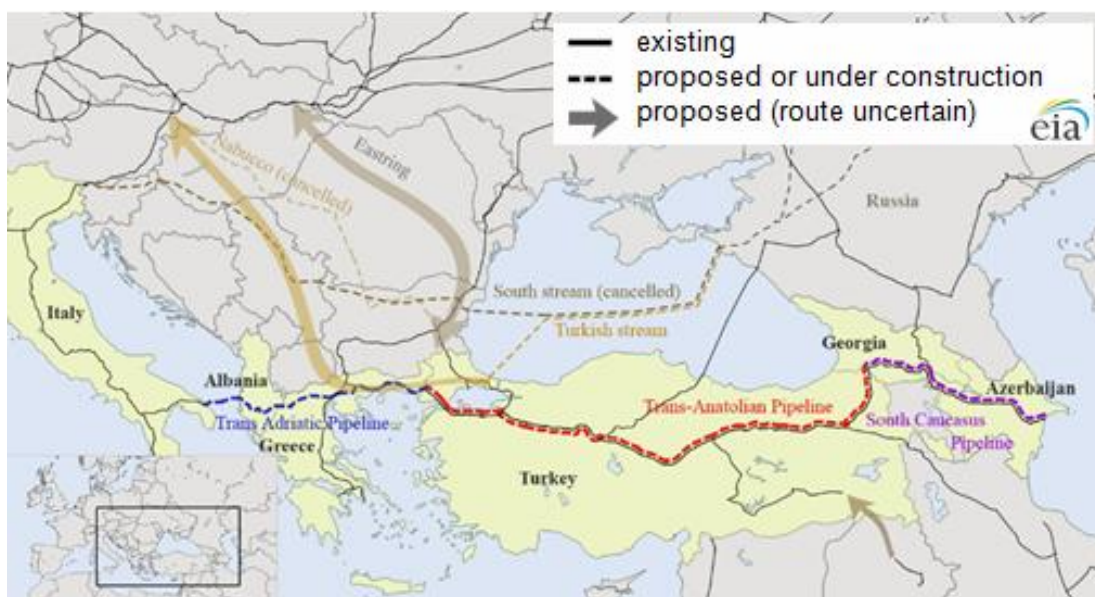
⊕ Ο αγωγός Galsi είναι ένας αγωγός που αναμένεται να σχεδιαστεί ώστε να συνδέσει την Αλγερία με την Ιταλία. Αναμένεται να λειτουργήσει το 2018 και να έχει ετήσια δυναμικότητα 8bcm. Αποτελείται από δύο τμήματα, το διεθνές κομμάτι ξεκινώντας από την Αλγερία φτάνοντας στη Νότια Σαρδηνία στο Porto Botte. 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.^[84]

4.1.4 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.^[85]



Σχήμα 43: 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 παίκτη 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 υπάρξει 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.^[86]

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 44: Ο αγωγός φυσικού αερίου Tabriz Ankara.^[87]

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.^[88]

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 Irsala. 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.^[89]

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.^[90]

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.

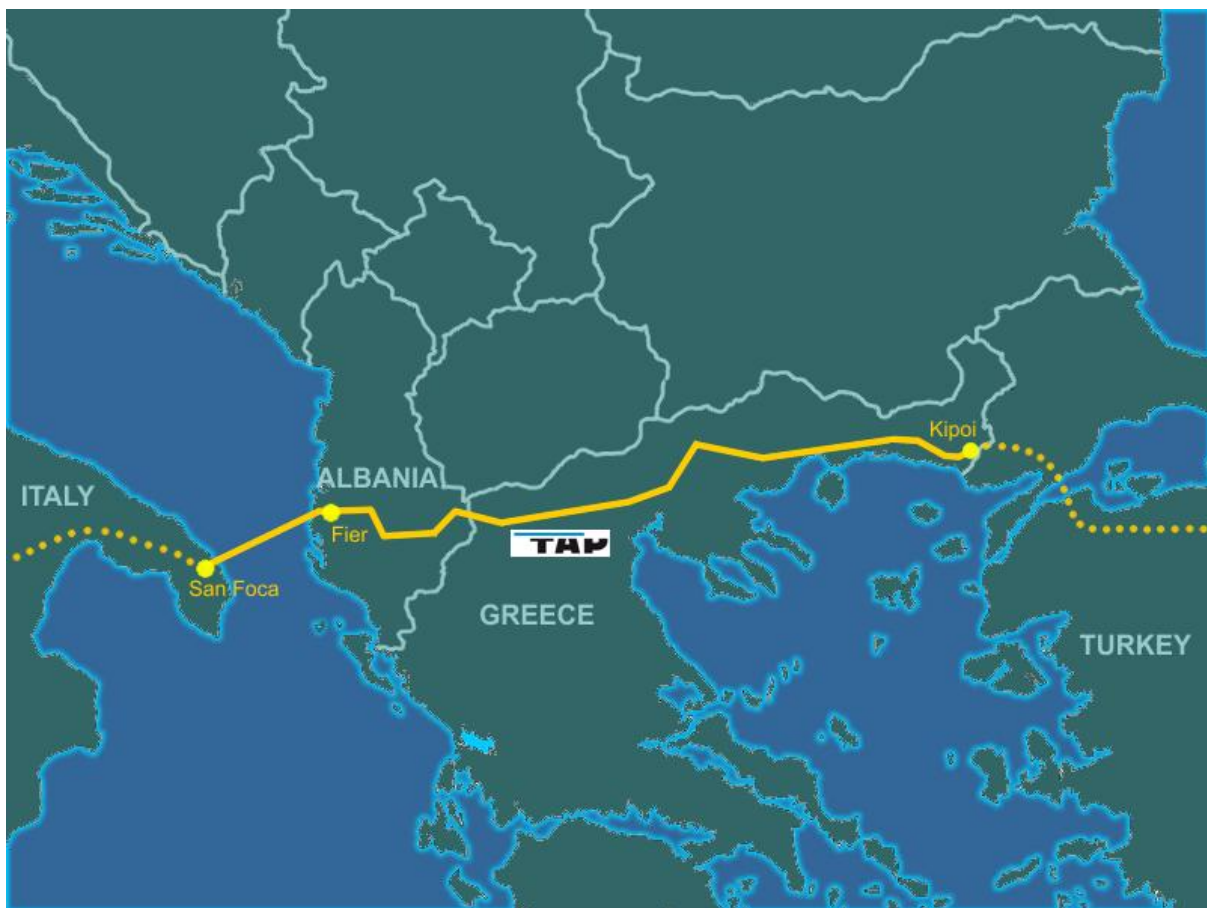
Αγωγός φυσικού αερίου Trans Adriatic (TAP) (υπό κατασκευή)

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.^[91]

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 45: Ο αγωγός φυσικού αερίου TAP.^[92]

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.

Πίνακας 4: 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			
	Brotherhood	Ρωσία-Ουκρανία	364	1420	>100	42	
		Ρωσία	3340				
	Soyuz	Ουκρανία	1160	1420	26.1 (32)	12	227.8 εκατ. USD
		Ρωσία	1180				
	Blue Stream	Ουκρανία	1567	1420	16		3.2 δισεκ. USD
Ρωσία		373					
Μαύρη Θάλασσα		396					
Turkstream (υπό κατασκευή)	Τουρκία	444	1400	31.5		11.4 δισεκ. €	
	Ρωσία	2*910					
	Μαύρη Θάλασσα						
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 5: 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			

4.2 Υπολογιστικά Εργαλεία

4.2.1 Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ArcGIS

Ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι ένα δυναμικό εργαλείο συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάκτησης, μετασχηματισμού και απεικόνισης χωρικών δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο.^[93] Είναι δηλαδή πληροφοριακά συστήματα (Information Systems) που παρέχουν την δυνατότητα: συλλογής, διαχείρισης, αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης σε ψηφιακό περιβάλλον των δεδομένων που σχετίζονται με τον χώρο.

Το λογισμικό ArcGIS είναι ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) που χρησιμοποιείται για την συλλογή, επεξεργασία και αποθήκευση πληροφοριών με γεωγραφική διάσταση. Το Πακέτο ArcGIS αποτελείται από πολλές εφαρμογές, μεταξύ των οποίων το ArcMap, το ArcCatalog, το ArcToolbox και το ArcGlobe, οι οποίες επιτελούν διαφορετικές λειτουργίες, αλλά είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους.

Κάθε διανυσματικό επίπεδο πληροφορίας χωρίζεται σε δύο τμήματα: σε αυτό που αναπαριστά την γεωγραφική πληροφορία και σε αυτό που αναπαριστά την περιγραφική. Και τα δύο τμήματα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η πρώτη πληροφορία περιλαμβάνει τη θέση και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενώ η δεύτερη προσδίδει ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες. Η χαρακτηριστική δυνατότητα που παρέχουν τα GIS είναι αυτή της σύνδεσης της χωρικής με την περιγραφική πληροφορία (η οποία δεν έχει από μόνη της χωρική υπόσταση).

4.2.2 Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών TransCAD

Το λογισμικό TransCAD είναι το πρώτο λογισμικό Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) που έχει σχεδιαστεί ειδικά για ειδικούς, προκειμένου να διαχειρίζονται και να αναλύουν τα δεδομένα των συστημάτων μεταφοράς. Το TransCAD συνδυάζει τα χαρακτηριστικά του GIS με συγκοινωνιακές δυνατότητες σε μια ενιαία ολοκληρωμένη πλατφόρμα, παρέχοντας δυνατότητες που δύσκολα συγκρίνονται από οποιοδήποτε άλλο πακέτο (About Caliper). Το TransCAD μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλα τα προβλήματα μεταφοράς, σε οποιαδήποτε κλίμακα ή το επίπεδο λεπτομέρειας και προβλέπει μια ισχυρή μηχανή συστημάτων γεωγραφικών αναφορών, με ειδικές προεκτάσεις για τη συγκοινωνιακή χαρτογράφηση, οπτικοποίηση και εργαλεία που έχουν σχεδιαστεί για ανάλυση σε εφαρμογές συστημάτων μεταφοράς. Παρέχει επίσης ειδικές ρυθμίσεις προγραμμάτων για την πρόβλεψη της ζήτησης των μετακινήσεων, τις δημόσιες μεταφορές και γενικά για όλο το σύστημα διαχείρισης των μεταφορών. Διαθέτει εφαρμογές για όλους τους τύπους των συγκοινωνιακών αναλύσεων και για όλους τους τρόπους μεταφοράς, κάτι που το καθιστά ιδανικό για τη συγκέντρωση και επεξεργασία πληροφοριών για τη λήψη ορθότερων αποφάσεων. Το λογισμικό τρέχει σε περιβάλλον Microsoft Windows και δεν χρειάζεται ιδιαίτερη υπολογιστική ισχύ, καθώς επίσης δεν χρειάζεται να δημιουργηθούν ιδιαίτερες εφαρμογές για την ανάλυση μετακινήσεων σε συνδυασμό με τα συστήματα

γεωγραφικών πληροφοριών και επομένως είναι συμβατό με όλους τους τύπους υπολογιστών.^[94]

Το TransCAD επίσης είναι το μόνο m, με αποτέλεσμα τα μοντέλα να είναι πολύ πιο ακριβή και αποτελεσματικά. Επίσης, διαφορετικές εξισώσεις μοντελοποίησης μπορούν εύκολα να εξαχθούν και να εφαρμοστούν για διαφορετικές γεωγραφικές υπό-περιοχές. Παρέχει επίσης μια γραφική επίλυση που είναι εύκολα κατανοητή.

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 ελαχίστου 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 ελαχίστου κόστους διαδρομών διαμέσου των οποίων θα γίνει η μεταφορά της ροής. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε για την επίλυση του προβλήματος της ροής των αγωγών φυσικού αερίου που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική.

Ο ορισμός προβλήματος ροής ελαχίστου 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 μέγιστη 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 u 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 :

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

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

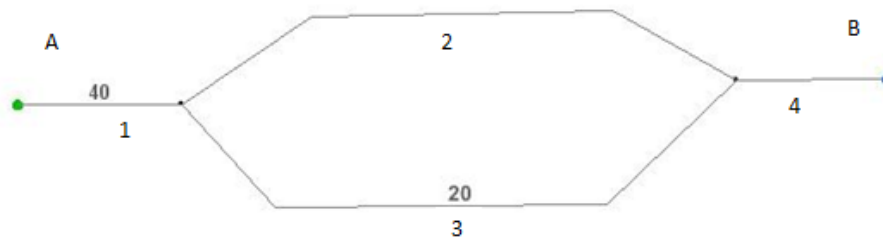
$$\text{και} \quad 0 \leq f(u, v) \leq c(u, v) \quad \text{για κάθε } (u, v) \in E$$

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

Επιβεβαίωση Αριθμητικής Μεθοδολογίας

Για την επιβεβαίωση της αριθμητικής μεθοδολογίας, κρίθηκε απαραίτητο να εξεταστούν αρχικά μικρά και απλά δίκτυα με προβλέψιμα αποτελέσματα. Με τον τρόπο αυτό, θα γίνει πιο κατανοητός ο τρόπος που το πρόγραμμα λειτουργεί και η διαδικασία μέσα από την οποία επιλέγει τη βέλτιστη διαδρομή.

Το πρώτο δίκτυο το οποίο σχεδιάστηκε αποτελούνταν από ένα σημείο παραγωγής (σημείο A) και ένα σημείο κατανάλωσης (σημείο B), με δύο πιθανές διαδρομές την 1-2-4 και την 1-3-4. Όλες οι γραμμές σύνδεσης είχαν το ίδιο μήκος και θεωρήθηκε ενιαίο κόστος μεταφοράς ίσο με 50. Οι αγωγοί θεωρήθηκαν διπλής κατεύθυνσης. Η χωρητικότητα της γραμμής 1 θεωρήθηκε ίση με 40bcu ενώ όλων των υπολοίπων ίση με 20, όπως παρουσιάζεται και στον πίνακα των δεδομένων. Η παραγόμενη ποσότητα στο σημείο A ορίστηκε ίση με την ζητούμενη του σημείου B με τιμή 20.

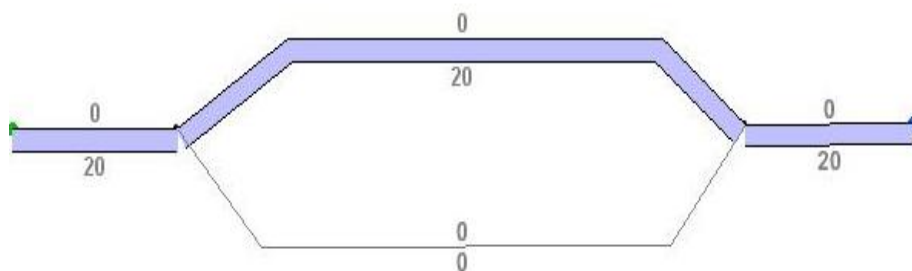


Σχήμα 46: Σχηματική απεικόνιση δικτύου 1.

Πίνακας 6: Δεδομένα εισόδου δικτύου 1.

ID	Dir	Length:1	Cost	Capacity
1	0	100	50	40
2	0	100	50	20
3	0	100	50	20
4	0	100	50	20

Οι δύο διαδρομές έχουν ίδιο κόστος και βάσει της ζητούμενης ποσότητας δεν εμφανίζουν πρόβλημα ως προς τον περιορισμό της χωρητικότητας. Κατά την επίλυση του παραπάνω προβλήματος με το Minimum Cost Flow, όλη η μεταφερόμενη ποσότητα μεταφέρθηκε μέσω της διαδρομής 1-2-4. Αυτό σημαίνει πως δύο διαδρομές με ίδια χαρακτηριστικά ως προς την χωρητικότητα και το κόστος είναι αδιάφορες ως προς την επίλυση, και γίνεται τυχαία η επιλογή της μιας για τη μεταφορά. Δηλαδή εφαρμόζεται η μέθοδος όλα ή τίποτα και δεν επιλέγει για παράδειγμα να μεταφέρει τη μισή ποσότητα μέσω της πρώτης και την υπόλοιπη μέσω της δεύτερης διαδρομής.

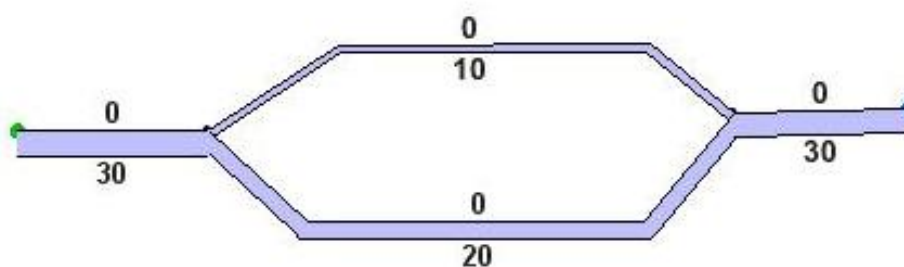


Σχήμα 47: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 1.

ID	AB_FLOW
1	20
2	20
3	0
4	20

Πίνακας 7: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 1.

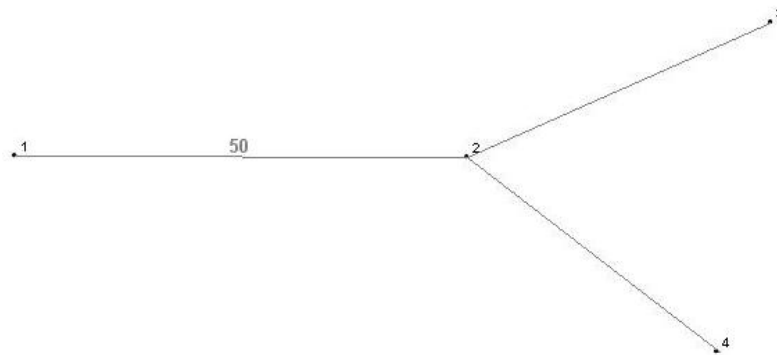
Κατά τη δεύτερη δοκιμή, χρησιμοποιήθηκε το ίδιο δίκτυο αλλά τα στοιχεία εισόδου τροποποιήθηκαν. Συγκεκριμένα, η παραγόμενη και η μεταφερόμενη ποσότητα ορίστηκε στα 30bcm ενώ το κόστος της γραμμής σύνδεσης 3 μειώθηκε στα 25, ενώ των υπολοίπων παρέμεινε 50. Στόχος ήταν να μελετηθεί τι γίνεται όταν εξαντλείται η χωρητικότητα των γραμμών μεταφοράς και η ταξινόμηση επιλογής βάσει κόστους. Κατά την επίλυση μέσω TransCAD, παρατηρεί κανείς ότι πρώτα εξαντλείται η χωρητικότητα του πιο οικονομικού αγωγού, ώστε να μεταφερθεί όσο το δυνατόν περισσότερη ποσότητα με το μικρότερο κόστος και στη συνέχεια εάν το σημείο κατανάλωσης απαιτεί παραπάνω ποσότητα η υπόλοιπη μεταφέρεται μέσω του αμέσως πιο ακριβού αγωγού.



Σχήμα 48: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 2.

Στη δεύτερη μορφή δικτύου που δοκιμάστηκε, δημιουργήθηκε ένα σημείο παραγωγής και δύο κατανάλωσης, για να ελεγχθεί τι συμβαίνει στην περίπτωση που υπάρχουν παραπάνω καταναλωτές. Πάλι οι γραμμές σύνδεσης ορίστηκαν διπλής κατευθύνσεως. Η χωρητικότητα και το κόστος που χρησιμοποιήθηκε θεωρήθηκε ενιαίο και ίσο με 50. Ενώ τα μήκη που καταλήγουν στις καταναλώσεις ήταν το ένα 100 και το άλλο 50. Η ποσότητα που παράγεται

ήταν 20 ενώ οι καταναλώσεις και οι δύο 10. Επομένως η μόνη διαφορά των δύο αγωγών βρίσκεται στο μήκος μετά τον κόμβο 2.

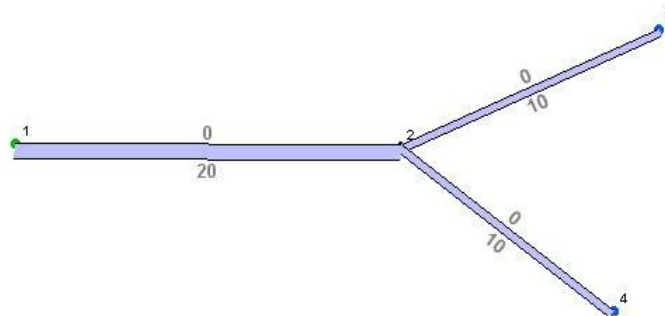


Σχήμα 49: Σχηματική απεικόνιση δικτύου 3.

ID	Dir	Length:1	Cost	Capacity
1	0	100	50	50
2	0	100	50	50
3	0	50	50	50

Πίνακας 8: Δεδομένα εισόδου δικτύου 3.

Τα αποτελέσματα όπως παρουσιάζονται και παρακάτω, φανερώνουν ότι το μήκος όταν αυτό δε σχετίζεται με το κόστος δεν έχουν καμία σημασία για την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής. Ακόμη, επιβεβαιώνεται ότι το δίκτυο λειτουργεί σωστά ακόμα και όταν η ποσότητα χρειάζεται σε κάποιο κόμβο να επιμεριστεί για την ικανοποίηση πολλαπλών χρηστών.



Σχήμα 50: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 3.

LINKID	AB_FLOW
1	20
2	10
3	10

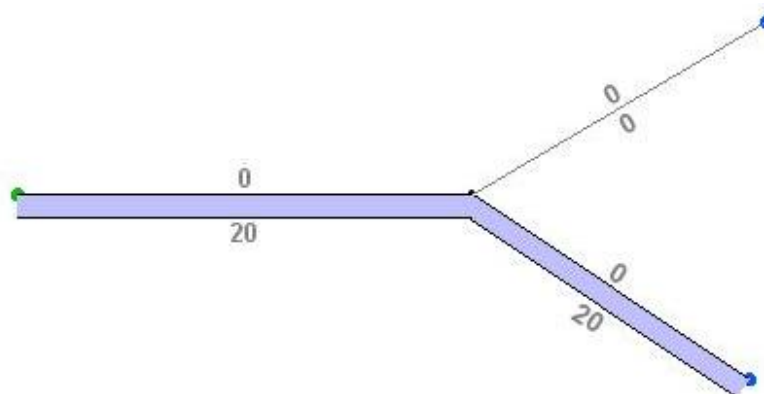
Πίνακας 9: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 3.

Κατά την τέταρτη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε το παραπάνω δίκτυο με τροποποίηση των στοιχείων εισόδου. Η παραγόμενη ποσότητα είναι πάλι 20 αλλά πλέον ζητείται 10 από τον κόμβο 3 και 20 από τον κόμβο 4. Ακόμη, η διαδρομή που οδηγεί στον κόμβο 3 έχει διπλάσιο κόστος από την αντίστοιχη του κόμβου 4 και ίσο με 100. Η δοκιμή αυτή έγινε για να ελεγχτεί ποιόν καταναλωτή θα επιλέξει να καλύψει.

ID	Dir	Length:1	Cost	Capacity
1	0	100	50	50
2	0	100	100	50
3	0	50	50	50

Πίνακας 10: Δεδομένα εισόδου δικτύου 4.

Και πάλι από τα αποτελέσματα επιβεβαιώνεται ότι με την επίλυση του Minimum Cost Flow επιλέγεται να καλυφθεί η χωρητικότητα της πιο οικονομικής διαδρομής. Για παράδειγμα, δεν επιλέγει, από τη στιγμή που δεν επαρκεί η παραγόμενη ποσότητα, να καλύψει πλήρως ένα σημείο κατανάλωσης αλλά επιλέγει να καλύψει μερικώς το σημείο κατανάλωσης 4 μέσω της πιο οικονομικής διαδρομής μεταφοράς. Έτσι μεταφέρεται ολόκληρη η ποσότητα μέσω της γραμμής 1-2-4.

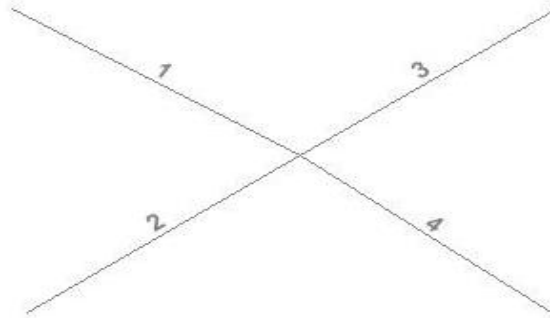


Σχήμα 51: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 4.

LINKID	AB_FLOW
1	20
2	0
3	20

Πίνακας 11: Αποτέλεσμα της επίλυσης του δικτύου 4.

Το επόμενο δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε αποτελείτο από δύο σημεία κατανάλωσης και δύο σημεία παραγωγής. Χρησιμοποιήθηκε για να ελεγχθεί η ορθότητα της μεθόδου για πολλαπλά σημεία παραγωγής και κατανάλωσης καθώς και η κατευθυντικότητα των διαδρομών. Για πρώτη φορά ορίστηκαν διαδρομές μονής κατεύθυνσης. Τα δύο σημεία παραγωγής παρήγαγαν 10 και 20 αντίστοιχα ενώ τα σημεία κατανάλωσης 20 και 20. Το μήκος ορίστηκε ομοιόμορφα ίσο με 100 όπως και η χωρητικότητα ίση με 50. Ακόμη το κόστος των γραμμών 1 και 3 ήταν, ίσο με 50 ενώ των γραμμών 2 και 4 ίσο με 100.

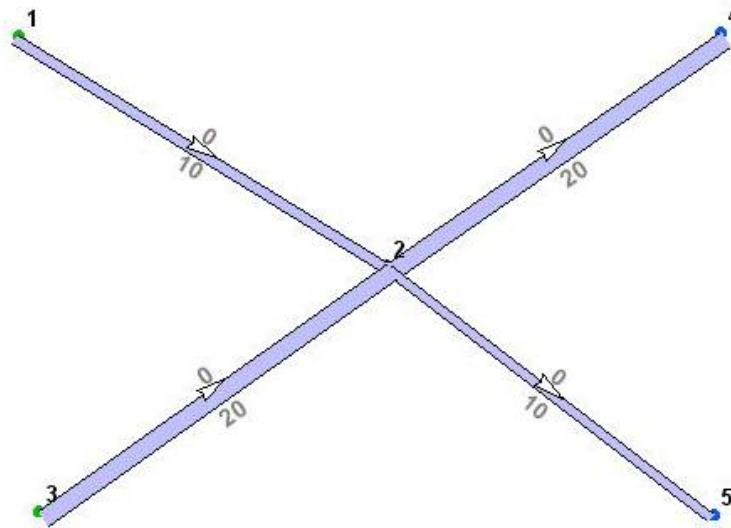


Σχήμα 52: Σχηματική απεικόνιση του δικτύου 5.

ID	Dir	Lenght	Cost	Capacity
1	1	100	50	50
2	1	100	100	50
3	1	100	50	50
4	1	100	100	50

Πίνακας 12: Δεδομένα εισόδου δικτύου 5.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν διαπιστώνει κανείς ότι καλύπτει πρώτα από τη πιο φτηνή διαδρομή που ξεκινά από σημείο παραγωγής και καλύπτει την κατανάλωση που ακολουθεί την πιο οικονομική διαδρομή. Αφού εξαντληθούν οι ποσότητες παίρνει από το αμέσως επόμενο από άποψη κόστους σημείο παραγωγής και καλύπτει ακολούθως τα σημεία ζήτησης.



Σχήμα 53: Αποτέλεσμα επίλυσης δικτύου 5.

LINKID	AB_FLOW
1	10
2	20
3	20
4	10

Πίνακας 13: Αποτέλεσμα επίλυσης δικτύου 5.

4.3 Περιγραφή του Μοντέλου

4.3.1 Δημιουργία Δικτύου στο ArcGIS

Μετά την μελέτη του υφιστάμενου δικτύου αγωγών φυσικού αερίου, έγινε αντιληπτό ποιοι είναι οι βασικοί αγωγοί που τροφοδοτούν την Ευρώπη, ποιές είναι οι χώρες- παραγωγοί και ποιές χώρες επηρεάζονται περισσότερο ή λιγότερο από αυτές. Ακόμη, μετά την εξοικείωση με τα βασικά υπολογιστικά εργαλεία που ήταν απαραίτητα για την εργασία αυτή και την κατανόηση του τρόπου που το πρόβλημα ροής ελαχίστου κόστους λειτουργεί, το επόμενο βήμα που ακλούθησε ήταν η εφαρμογή των παραπάνω για τη δημιουργία του μοντέλου.

Για την αναπαράσταση του δικτύου των αγωγών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS. Επειδή το υφιστάμενο δίκτυο είναι περίπλοκο, πυκνό και ταυτόχρονα η πρόσβαση σε όλα τα τεχνικά στοιχεία των αγωγών δεν ήταν εφικτή, έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος απλοποίησης αυτού. Άλλωστε ένα μοντέλο δεν επιδιώκει την πιστή απεικόνιση αλλά μέσα από παραδοχές και απλοποιήσεις την δημιουργία ενός συστήματος απλού και κατανοητού που μπορεί να δώσει γρήγορα και ρεαλιστικά αποτελέσματα. Μια πρώτη ιδέα ήταν η δημιουργία ζωνών εντός της Ευρώπης με κοινά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα κοινό ποσοστό εξάρτησης από μία χώρα-παραγωγό ή ίσης τάξης μεγέθους κατανάλωση φυσικού αερίου. Όμως, σύντομα διαπιστώθηκε πως κάτι τέτοιο θα περιέπλεκε τα δεδομένα που έπρεπε να αποτυπωθούν παρά να οδηγούσε σε καμιά απλοποίηση.

Τελικά, επιλέχθηκε το μοντέλο να διαχωρίζει το δίκτυο αγωγών που έρχονται εκτός Ευρώπης από τις χώρες τροφοδοσίας και φτάνουν στις πρώτες ευρωπαϊκές χώρες-αποδέκτες, από το εσωτερικό δίκτυο αγωγών, δηλαδή τους αγωγούς που επιτρέπουν τη διανομή του φυσικού αερίου εντός της Ευρώπης.

Θεωρήθηκε πως η αποτύπωση του εξωτερικού δικτύου αγωγών έπρεπε να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματικότητα, αφού αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για το πρόβλημα που εξετάζεται, ενώ για το εσωτερικό δίκτυο κρίθηκε απαραίτητο να απλοποιηθεί τόσο προς απλούστευση του μοντέλου όσο και λόγω έλλειψης στοιχείων.

Τα βασικά δεδομένα της αποτύπωσης στο πακέτο ArcGIS είναι:

- οι κόμβοι
- οι εξωτερικοί αγωγοί φυσικού αερίου
- οι εσωτερικοί αγωγοί φυσικού αερίου

Οι κόμβοι του δικτύου μπορεί να αποτελούν:

- σημείο παραγωγής, δηλαδή σημείο των κοιτασμάτων που τροφοδοτούν τους αγωγούς του εξωτερικού δικτύου και είναι το σημείο έναρξής του
- σημείο στο οποίο οι αγωγοί συνδέονται μεταξύ τους και το φυσικό αέριο διανέμεται σε ολόκληρη την Ευρώπη.

Αφού οι ροές του φυσικού αερίου προέρχονται από την Ρωσία, τη Βόρεια θάλασσα, την Βόρεια Αφρική και τη Μέση Ανατολή εκεί έπρεπε να δημιουργηθούν τα σημεία παραγωγής. Για την Ρωσία επιλέχθηκαν δύο σημεία που περιγράφουν και τις βασικές διαδρομές των αγωγών. Μια πιο βόρεια, που οδηγεί τους αγωγούς στη Λευκορωσία και μία νοτιότερη που φτάνει στην Ουκρανία. Για την επόμενη περιοχή κοιτασμάτων τη Βόρεια Θάλασσα επιλέχθηκαν πάλι δύο σημεία παραγωγής, ένα στη Βόρεια Θάλασσα που αποτέλεσε το σημείο έναρξης των περισσότερων αγωγών της περιοχής αυτής και ένα στη Νορβηγία ως σημείο έναρξης του αγωγού Europipe II. Στην Αφρική επιλέχθηκαν δύο σημεία κατανάλωσης. Το πρώτο ήταν στην Αλγερία στο πεδίο κοιτασμάτων Hassi R'Mel και το δεύτερο στη Λιβύη, στο Wafa. Ενώ, για τους αγωγούς από τη Μέση Ανατολή δημιουργήθηκαν πάλι δύο σημεία κατανάλωσης. Το ένα στο Αζερμπαϊτζάν και το δεύτερο στο Ιράν.

Από τα σημεία αυτά ξεκινούν οι βασικοί αγωγοί με κατεύθυνση τις Ευρωπαϊκές χώρες. Οι αγωγοί αυτοί όπως αναφέρθηκε έγινε προσπάθεια να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο πραγματικό δίκτυο. Οι αγωγοί αυτοί εκτός από το ότι σχεδιάστηκαν, περιγράφηκαν και τα βασικά τους χαρακτηριστικά δηλαδή το όνομά τους, το μήκος τους και η ετήσια δυναμικότητά τους μέσα στο Attribute Table, έναν πίνακα με τα στοιχεία των αντικειμένων που σχεδιάζονται.

Από τη Ρωσία το σύστημα των αγωγών ήταν το πιο σύνθετο και η ακριβής αποτύπωσή του ήταν δύσκολη. Η σύνδεση των αγωγών με το βορειότερο σημείο παραγωγής έγινε με τον αγωγό Urengoy με ετήσια δυναμικότητα ίση με το άθροισμα των δύο αγωγών που ακολουθούν, ο Yamal-Europe και ο Northern Lights, δηλαδή ίση με 78 bcm Στο δίκτυο, ο αγωγός Yamal-Europe ξεκινά στο Τόρζοκ και από εκεί φτάνει στο κόμβο της Λευκορωσίας διανύοντας διαδρομή ίση με 690 χλμ. Το κομμάτι αυτό αντιστοιχεί άθροισμα ολόκληρου του τμήματος της Ρωσίας και του μισού της Λευκορωσίας, αφού ο κόμβος που επιλέχθηκε να βρίσκεται το κέντρο αυτής, δηλαδή ίσο με 690 χλμ. Ο αγωγός Northern Lights ενώ ξεκινά από τα κοιτάσματα της Βορειοδυτικής Σιβηρίας και έχει συνολικό μήκος 7.377 χλμ, εξαιτίας της θεώρησης που αναφέρθηκε παραπάνω, ο αγωγός ξεκινά από το σημείο του Τόρζοκ. Το τμήμα του αγωγού που λαμβάνεται υπόψη, είναι μόνο αυτό στο οποίο φτάνει στη Λευκορωσία με συνολικό μήκος 454 χλμ. Τα υπόλοιπα παρακλάδια του θεωρούνται αγωγοί του εσωτερικού δικτύου της Ευρώπης. Ένα παρακλάδι αυτού οδηγεί στον αγωγό Nord Stream ο οποίος κινείται υποθαλάσσια και καταλήγει στη Γερμανία. Ο δεύτερος άξονας του δικτύου, ο νοτιότερος, αποτελείται από τους αγωγούς Brotherhood και Soyuz που καταλήγουν στην Ουκρανία. Ένα παρακλάδι αυτών ξεκινά να κατευθύνεται προς τη Βόρεια Θάλασσα και είναι ο αγωγός Blue stream, που καταλήγει στην Τουρκία, καθώς και το χερσαίο τμήμα του Blue Stream που φτάνει έως και τα παράλια της Ρωσίας με την Μαύρη Θάλασσα. Στον δεύτερο άξονα δεν χρειάστηκε να γίνει κάποια παραδοχή και έτσι μπήκαν τα πραγματικά στοιχεία των αγωγών (μήκος, ετήσια δυναμικότητα). Τα στοιχεία των αγωγών αυτών παρουσιάζονται συγκεντρωτικά ακολούθως:

- Urengoy, με ετήσια δυναμικότητα 78 bcm και μήκος 840 χλμ
- Yamal- Europe, με ετήσια δυναμικότητα 33 bcm και μήκος 690 χλμ
- Northern Lights(μέχρι Λευκορωσία), με ετήσια δυναμικότητα 45 bcm και μήκος 454 χλμ
- Gryazovets-Vyborg, με ετήσια δυναμικότητα 55 bcm και μήκος 917 χλμ
- Nord Stream, με ετήσια δυναμικότητα 55 bcm και μήκος 1222 χλμ
- Brotherhood, με ετήσια δυναμικότητα 100+bcm και μήκος 4500 χλμ
- Soyuz, με ετήσια δυναμικότητα 26 bcm και μήκος 840 χλμ
- Blue Stream onshore, με ετήσια δυναμικότητα 16 bcm και μήκος 373 χλμ



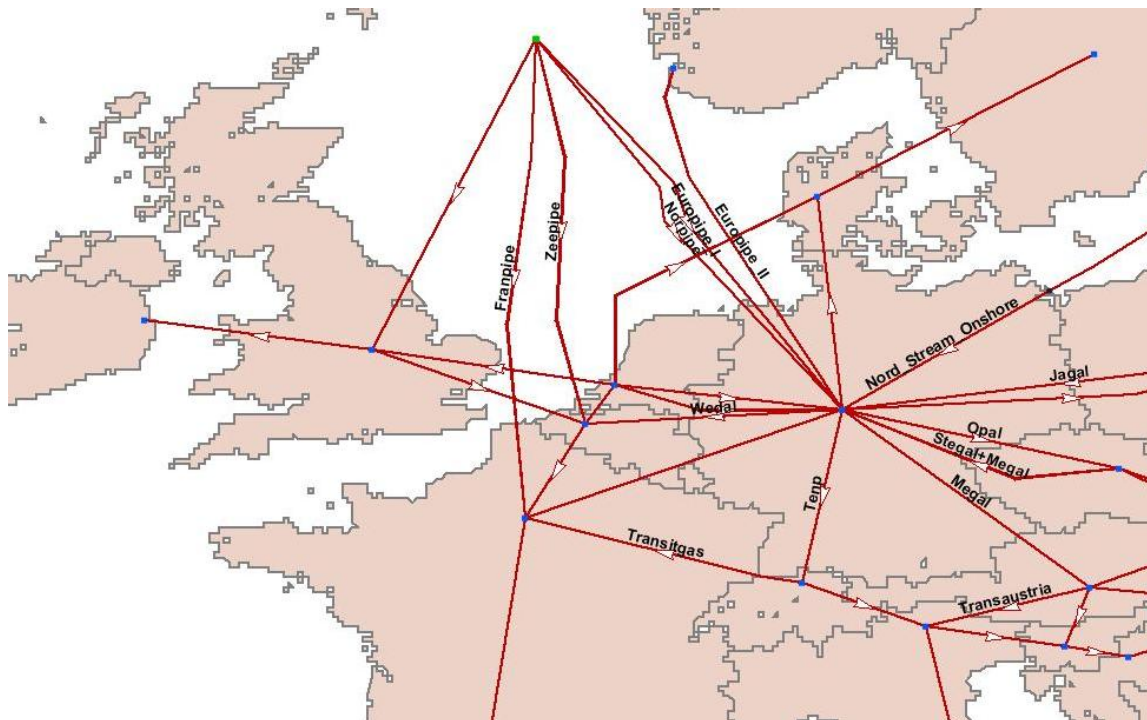
Σχήμα 54: Οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου από τη Ρωσία στο μοντέλο.

Στη Βόρεια Θάλασσα, τη δεύτερη σημαντικότερη πηγή φυσικού αερίου για την Ευρώπη, υπάρχουν πολλοί αγωγοί, συγκεκριμένα συστήματα αγωγών όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Έγινε η θεώρηση να αναπαρασταθούν οι βασικές ροές αγωγών προς τις κύριες χώρες που εισάγουν το αέριο από τη Βόρεια Θάλασσα και συγκεκριμένα η Αγγλία, η Σκωτία, το Βέλγιο και η Γερμανία.

Για την Αγγλία και τη Σκωτία οι αγωγοί ενσωματώθηκαν σε έναν ενιαίο ο οποίος θεωρήθηκε ότι έχει τη συνολική ετήσια δυναμικότητα των επιμέρους αγωγών και με τιμή

45bcm. Ως μήκος θεωρήθηκε ο μέσος όρος των μηκών των επιμέρους αγωγών. Στις υπόλοιπες χώρες τα στοιχεία θεωρήθηκαν τα πραγματικά. Δηλαδή:

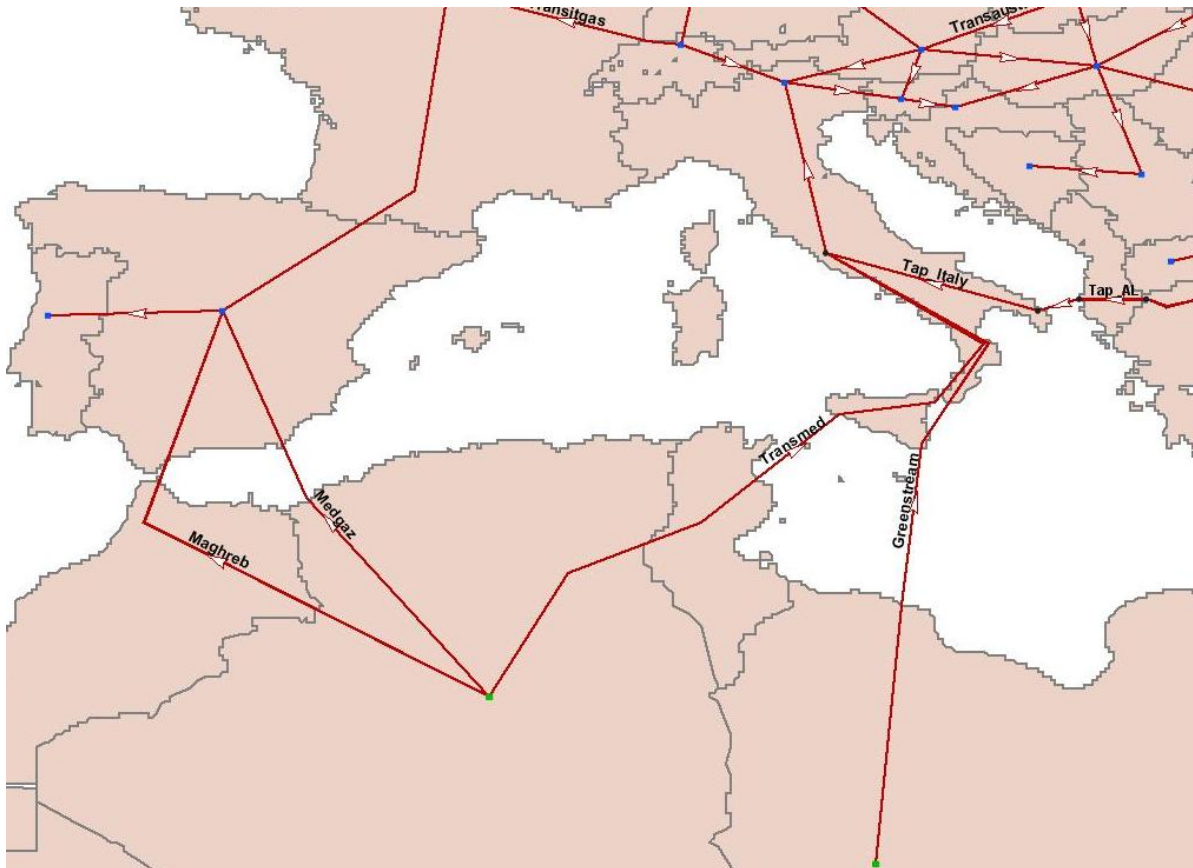
- Η Γαλλία με τον Franpire με ετήσια δυναμικότητα ίση με 19.6 bcm και μήκος 840 χλμ.
- Το Βέλγιο με τον Zeepipe με ετήσια δυναμικότητα ίση με 15 bcm και μήκος 814 χλμ.
- Η Γερμανία με τους Norpipe, Europipe I, II με συνολική ετήσια δυναμικότητα ίση με 58bcm και μήκη αγωγών ίσα με τα πραγματικά.



Σχήμα 55: Οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου από τη Βόρεια Θάλασσα στο μοντέλο.

Στα σημεία παραγωγής της Αφρικής με το κοιτάσμα Hassi R'Mel συνδέθηκαν οι αγωγοί Maghreb, Medgaz που φτάνουν στην Ισπανία και ο Transmed που φτάνει στην Ιταλία. Από το κοιτάσμα Wafa της Λιβύης ξεκινά ο αγωγός Greenstream που καταλήγει και αυτός στην Ιταλία, όπως και ο Transmed. Έτσι, τα στοιχεία των αγωγών είναι τα πραγματικά:

- Maghreb, με ετήσια δυναμικότητα 12 bcm και μήκος 1620 χλμ
- Medgaz, με ετήσια δυναμικότητα 8 bcm και μήκος 757 χλμ
- Transmed, με ετήσια δυναμικότητα 33 bcm και μήκος 1475 χλμ (μετά την αναβάθμισή του)
- Green-stream, με ετήσια δυναμικότητα 11 bcm και μήκος 520 χλμ



Σχήμα 56: Οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου από την Αφρική στο μοντέλο.

Από την Μέση Ανατολή με το σημείο παραγωγής του Αζερμπαϊτζάν συνδέθηκε ο αγωγός South Caucasus, ο οποίος φτάνει μέχρι το Ερζερούμ της Τουρκίας. Από το σημείο παραγωγής του Ιράν ξεκινάει ο αγωγός Tabriz-Ankara. Κανονικά ο αγωγός αυτός φτάνει μέχρι την Άγκυρα, όμως στο μοντέλο έγινε η θεώρηση ότι ο αγωγός αυτός φτάνει έως το Ερζερούμ και αυτός και έτσι το μήκος του είναι πλην της απόστασης Ερζερούμ-Άγκυρα, η οποία μετρήθηκε από το Google Earth. Από το σημείο συμβολής αυτών των δύο αγωγών ξεκινά ο Tapar και ακολουθεί ο Tap. Τα έργα τα οποία έχουν προταθεί αλλά δεν έχουν ξεκινήσει δεν χρησιμοποιήθηκαν, όπως ο αγωγός Turkishstream. Αλλά οι υπό κατασκευή Tapar και Tap σχεδιάστηκαν για να χρησιμοποιηθούν στα σενάρια. Οι αγωγοί αυτοί είναι απαραίτητοι για την υλοποίηση του Νότιου Διαδρόμου και συνεπώς είναι ύψιστης στρατηγικής σημασίας. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, θεωρώντας το Ερζερούμ ως κόμβο, τίθεται αυτή σαν αρχή του Tapar αντί των συνόρων Τουρκίας-Γεωργίας και με τον τρόπο αυτό απλοποιείται το σχέδιο. Ο αγωγός έχει μήκος στο σχέδιο όσο το προβλεπόμενο μετά το πέρας της κατασκευής του, δηλαδή 1850 χλμ. Όσον αφορά την παροχή με την οποία προβλέπεται να ξεκινήσει ο αγωγός το 2018 είναι 16 bcm/year αλλά όπως αναφέρουν οι πηγές μας, τα 6 από αυτά θα καλύπτουν ένα μέρος της κατανάλωσης της Τουρκίας. Για αυτό το λόγο χωρίζεται ο αγωγός σε δύο τμήματα Tapar 1 και 2. Έτσι, ο Tapar στην εφαρμογή, από τον κόμβο της Άγκυρας και μετά (Tapar 2) θα έχει παροχή 10bcm/year αφού με αυτή θα τροφοδοτεί την Ευρώπη μέσω του Tap, ενώ από τον κόμβο

του Ερζερούμ, από το οποίο ξεκινάει, έως την Άγκυρα (Tanap 1), που όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο είναι το σημείο ζήτησης της Τουρκίας, θα έχει απεριόριστη παροχή αφού δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός.

Ο αγωγός Blue Stream στο σχέδιο, χωρίζεται σε δύο μέρη. Το πρώτο είναι το χερσαίο κομμάτι της Ρωσίας (373 χλμ) και το δεύτερο είναι το υποθαλάσσιο κομμάτι μαζί με Τούρκικο χερσαίο κομμάτι (840 χλμ). Επιλέγεται να μπει το πρώτο τμήμα στην ομαδοποίηση της Ρωσίας αφού ανήκει στα εδάφη της, ενώ το δεύτερο στην ομαδοποίηση της Μέσης Ανατολής, αφού η διαδρομή που ακολουθεί για να φτάσει στην Ευρώπη είναι μέσω της Μαύρης Θάλασσας και έπειτα της Τουρκίας. Ο αγωγός καταλήγει στην Άγκυρα με θεωρητική ικανότητα μεταφοράς ίση με 16 bcm/year, μια παροχή όμως που καλύπτει τις ανάγκες μόνο της Τουρκίας χωρίς να συμμετέχει στην τροφοδοσία της Ευρώπης μέχρι στιγμής.

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο για τους αγωγούς είναι:

- South Caucasus, με ετήσια δυναμικότητα 25 bcm και μήκος 691 χλμ
- Tabriz-Ankara, με ετήσια δυναμικότητα 14 bcm και μήκος 1800 χλμ
- Tanap (Tanap 1 + Tanap 2), με ετήσια δυναμικότητα 10 bcm ο Tanap και συνολικό μήκος 1850 χλμ
- Blue Stream offshore, με ετήσια δυναμικότητα 16 bcm και μήκος 840 χλμ



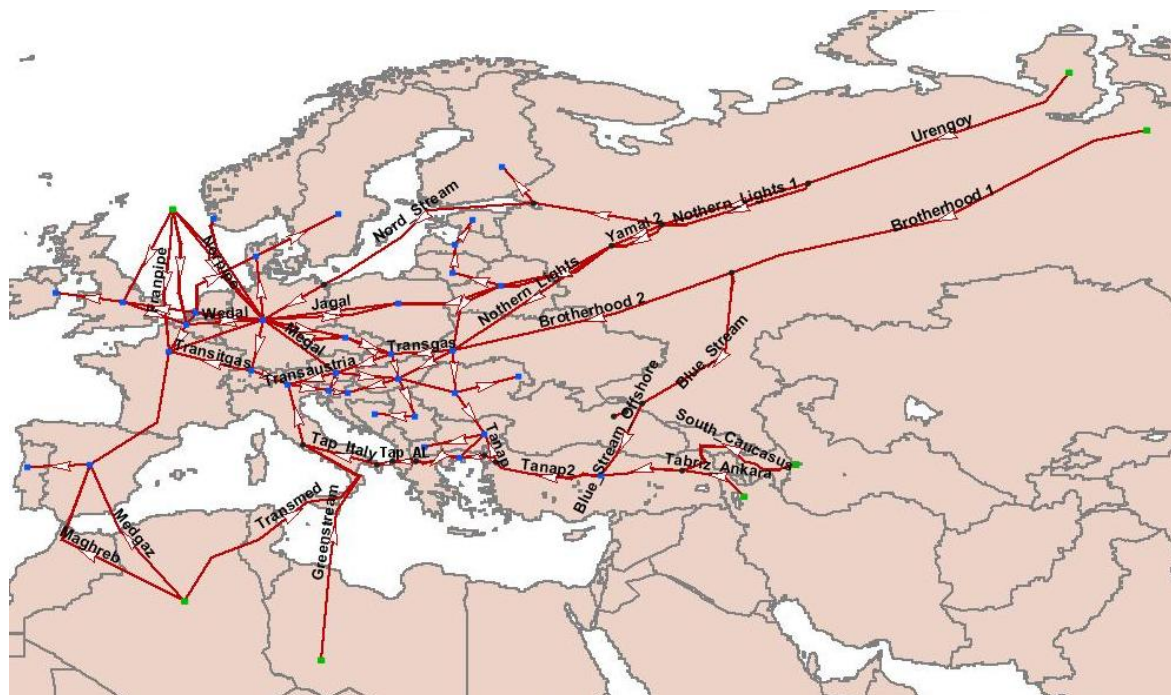
Σχήμα 57: Οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου από τη Μέση Ανατολή στο μοντέλο.

Το εσωτερικό δίκτυο της Ευρώπης είναι ακόμη πιο πολύπλοκο λόγω της πυκνής του δομής. Κάθε χώρα έχει πολλούς αγωγούς που είναι υπεύθυνοι να διανέμουν το φυσικό αέριο σε όλη τη χώρα, ενώ κάποιο άλλοι είναι υπεύθυνοι για να εξασφαλίσουν τη σύνδεση των

διακρατικών αγωγών. Ακόμη, οι αγωγοί αυτοί συναντούνται σε πολλά σημεία σε κάθε χώρα. Για το λόγο αυτό έγινε η θεώρηση η κάθε χώρα να έχει έναν κόμβο. Εξαιρέση αποτελεί η Ιταλία, η οποία λόγω του επιμήκους σχήματός της κρίθηκε απαραίτητο να έχει δύο σημεία-κόμβους, ένα για το βόρειο τμήμα της και ένα για το νότιο. Με τον τρόπο αυτό προσεγγίζεται και καλύτερα το υφιστάμενο δίκτυο.

Η επιλογή του σημείου που θα ήταν καταλληλότερο για το δίκτυο δεν ήταν απλό. Στις περιπτώσεις όπου πολλοί αγωγοί συμβάλλουν σε συγκεκριμένο σημείο ή το σημείο αυτό είναι σημαντικό, επιλέχθηκε να αναπαρασταθεί το πραγματικό σημείο διότι είναι μία παράμετρος που επηρεάζει πολλούς αγωγούς και συνεπώς είναι σημαντική. Τέτοιο παράδειγμα ήταν η Ολλανδία ή η Ελλάδα.

Στις υπόλοιπες περιπτώσεις που οι αγωγοί διασταυρώνονται στο υφιστάμενο δίκτυο με τρόπο ακαθόριστο, χωρίς συγκεκριμένο μοτίβο επιλέχθηκε ως κόμβος της χώρας να είναι η πρωτεύουσά της, που συνήθως είναι και ένα σημείο που βρίσκεται σχετικά στο κέντρο των περισσότερων χωρών. Τέτοιο παράδειγμα είναι η Γαλλία.



Σχήμα 58: Το εσωτερικό δίκτυο αγωγών στην Ευρώπη στο μοντέλο.

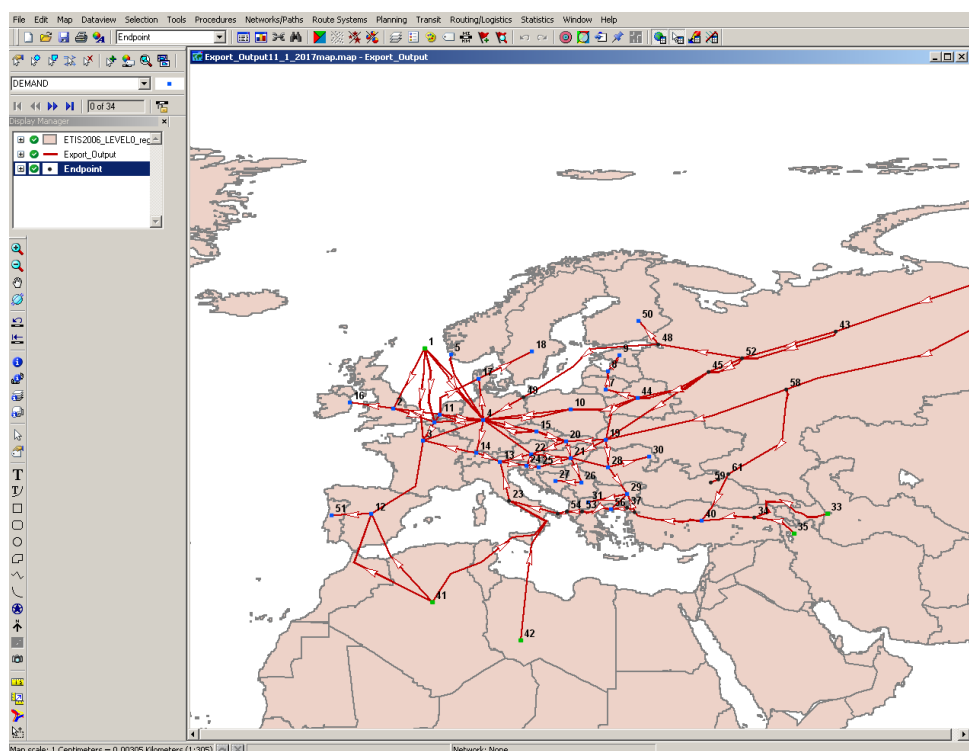
Βασικός στόχος της ένωσης αυτών ήταν η αναπαράσταση των υφιστάμενων ροών με όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικό τρόπο. Έτσι, οι βασικοί αγωγοί που είναι και πιο γνωστοί όπως ο Megal, ο Jagal και άλλοι σχεδιάστηκαν με τα ακριβή στοιχεία τους. Οι υπόλοιποι αγωγοί συνδέθηκαν και τα μήκη τους μετρήθηκαν από την εφαρμογή Google Earth. Όλοι αγωγοί του εσωτερικού δικτύου θεωρήθηκε ότι δεν έχουν περιορισμό δυναμικότητας. Δηλαδή ορίστηκε ετήσια ικανότητα μεταφοράς αρκετά μεγάλη, ώστε η ροή μεταξύ τους να είναι ανεμπόδιση. Αυτό έγινε αφού το εσωτερικό δίκτυο είναι τόσο πυκνό που δεν έχει κάποιο

νόημα να λειτουργήσει ως περιοριστικός παράγοντας η δυναμικότητα των αγωγών αυτών. Μοναδική εξαίρεση αποτέλεσε ο αγωγός Tap, ο οποίος αποτελεί προέκταση του αγωγού Tapar και ουσιαστικά η δυναμικότητά του επηρεάζει την ποσότητα του αερίου που έρχεται από τη Μέση Ανατολή. Εξάλλου συμμετέχει και αυτός στη δημιουργία του Νότιου Διαδρόμου και έχει μεγάλη σημασία. Το ίδιο συνέβη και στον αγωγό που συνδέει τη Γαλλία με την Ισπανία, αφού είναι μοναδικός και επηρεάζει τη ροή του αερίου.

4.3.2 Εισαγωγή Δικτύου στο TransCAD

Μετά τη δημιουργία του δικτύου στο ArcGIS, συνοδευόμενο από τον πίνακα με τα χαρακτηριστικά των αγωγών, αυτό εισήχθηκε στο πρόγραμμα TransCAD. Το πρόγραμμα για να μπορέσει να επιλύσει το πρόβλημα με τη μέθοδο ροής ελαχίστου κόστους χρειάζεται τα εξής δεδομένα:

- σύνολο κόμβων που αποτελούν σημεία παραγωγής (origin layer)
- σύνολο κόμβων που αποτελούν σημεία κατανάλωσης (destination layer)
- σύνολο γραμμικών στοιχείων που αποτελούν τις γραμμές μεταφοράς με πληροφορίες για τη μεταφορική ικανότητα και το κόστος μεταφοράς.



Σχήμα 59: Το μοντέλο αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου στο περιβάλλον TransCAD.

Ένα βασικό στοιχείο για την επίλυση είναι τα δεδομένα παραγωγής και κατανάλωσης που θα χρησιμοποιηθούν στα σύνολα των κόμβων. Όπως έχει αναφερθεί κάθε κόμβος μπορεί να λειτουργεί είτε ως σημείο παραγωγής, είτε ως σημείο κατανάλωσης, είτε ως απλός κόμβος δικτύου που δεν επηρεάζει τη ροή.

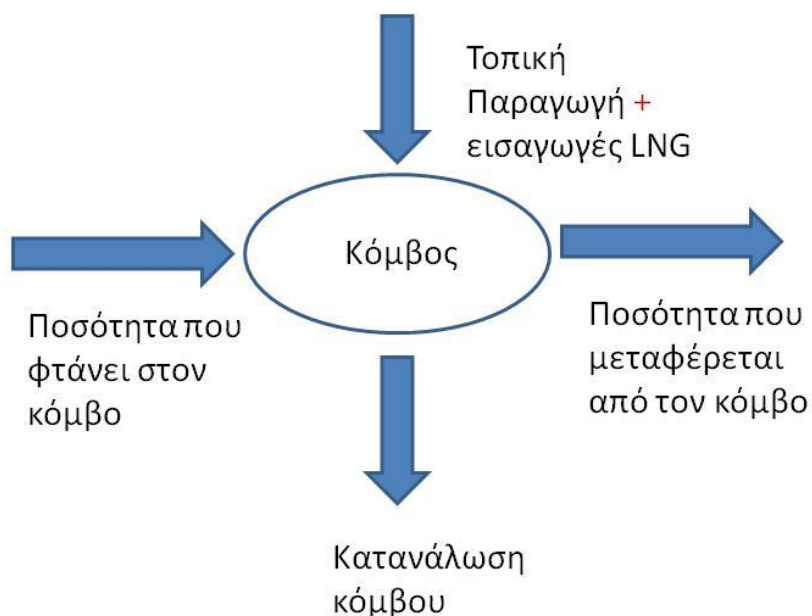
Για τα σημεία παραγωγής εκτός από τα βασικά σημεία παραγωγής που αναφέρθηκαν έως τώρα στο δίκτυο ειδική περίπτωση αποτελεί η Ολλανδία και η Δανία. Είναι χώρες που παράγουν τοπικά μεγαλύτερες ποσότητες απ ότι καταναλώνουν και έτσι παρουσιάζονται στο δίκτυο ως χώρες που τροφοδοτούν τις υπόλοιπες και όχι ως χώρες που τροφοδοτούνται. Αυτό θα εξηγηθεί περαιτέρω και στη συνέχεια.

ID	Country_Name	Supply
1	North_Sea	88
5	Norway	24,6
11	Netherlands	15,5
17	Denmark	1,4
33	Azerbaijan	8,2
35	Iran	8,1
41	Algeria	43,9
42	Libya	7,1
46	Russia_South	100
78	Russia_North	65,7
	Ολική παραγωγή	362,5

Πίνακας 14: Ετήσια παραγωγή φυσικού αερίου.^[4]

Για την κατανάλωση κάθε χώρας πολλές πηγές πληροφοριών έπρεπε να συλλεχτούν και να συγκριθούν, ώστε τελικά να χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο. Κάθε κόμβος που έχει κατανάλωση θα πρέπει να παρουσιάζει την καθαρή ζήτηση. Αυτό συμβαίνει γιατί σε κάθε κόμβο εισέρχεται και εξέρχεται ποσότητα (τα αποτελέσματα της ροής αυτής προκύπτουν από την επίλυση) και ταυτόχρονα μια ποσότητα παράγεται τοπικά και καταναλώνεται. Επιπλέον, επειδή το δίκτυο περιγράφει μόνο τη ροή φυσικού αερίου μέσω αγωγών η ποσότητα του LNG που εισάγει η κάθε χώρα έπρεπε να αφαιρεθεί από την ποσότητα που καταναλώνεται. Συνεπώς, ισχύει:

$$\text{Καθαρή ζήτηση} = \text{Κατανάλωση} - (\text{Τοπική Παραγωγή} + \text{Εισαγόμενο LNG})$$



Σχήμα 60: Σχηματική απεικόνιση ροών ποσοτήτων φυσικού αερίου σε κάθε κόμβο.

Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται για την Ευρώπη των 28 στον επόμενο πίνακα. Μικρές αποκλίσεις των τιμών αυτών στις διάφορες πηγές είναι λογικό λόγω των παραδοχών, καθώς και ότι η πρόσβαση στις πληροφορίες αυτές είναι δύσκολη και πολυπαραγοντική.

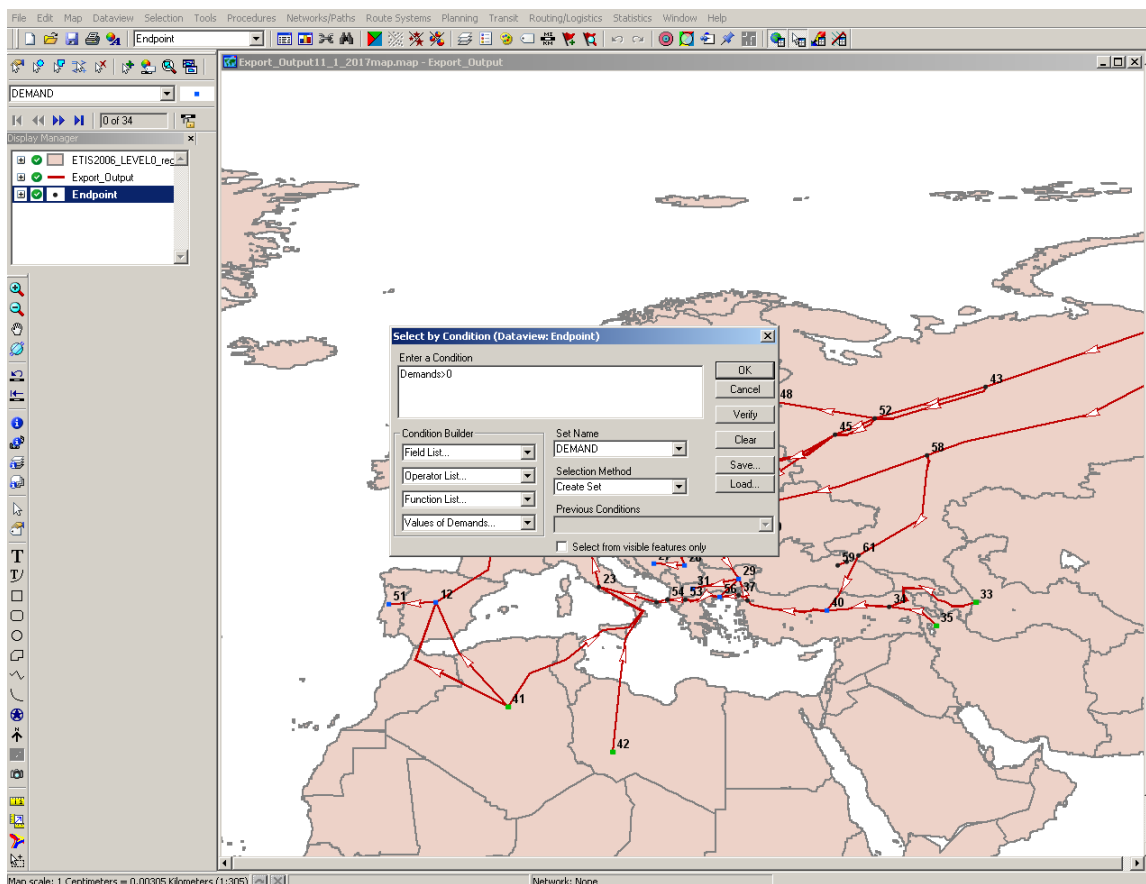
Πίνακας 15:Στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης φυσικού αερίου.

	Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας	Κατανάλωση αερίου			Τοπική παραγωγή αερίου			
		eurostat 2015			eurostat 2015			
EU-28	eurostat 2015	(Mtoe/a)	(ktoe/a)	(Mtoe/a)	bcm	(ktoe/a)	(Mtoe/a)	bcm
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	314.20	65,154	65.15	76.65	6,335.10	6.34	7.45	
ΓΑΛΛΙΑ	252.62	35,047	35.05	41.23	19.10	0.02	0.02	
ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	190.75	61,280	61.28	72.09	35,659.30	35.66	41.95	
ΙΤΑΛΙΑ	156.17	55,302	55.30	65.06	5,545.50	5.55	6.52	
ΙΣΠΑΝΙΑ	121.42	24,538	24.54	28.87	54.10	0.05	0.06	
ΠΟΛΩΝΙΑ	95.43	13,776	13.78	16.21	3,682.90	3.68	4.33	
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	77.56	29,176	29.18	34.32	39,003.10	39.00	45.89	
ΒΕΛΓΙΟ	54.22	13,967	13.97	16.43	0.00	0.00	0.00	
ΣΟΥΗΔΙΑ	45.47	731	0.73	0.86	0.00	0.00	0.00	
ΤΣΕΧΙΑ	42.44	6,483	6.48	7.63	204.80	0.20	0.24	
ΡΟΥΜΑΝΙΑ	32.41	8,925	8.93	10.50	8,785.20	8.79	10.34	
ΑΥΣΤΡΙΑ	33.25	6,877	6.88	8.09	1,037.50	1.04	1.22	
ΕΛΛΑΔΑ	24.45	2,677	2.68	3.15	4.70	0.00	0.01	
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	18.51	2,595	2.59	3.05	84.50	0.08	0.10	
ΔΑΝΙΑ	16.77	2,867	2.87	3.37	4,144.20	4.14	4.88	
ΣΛΟΒΑΚΙΑ	16.43	3,879	3.88	4.56	77.80	0.08	0.09	
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	23.00	4,074	4.07	4.79	0.00	0.00	0.00	
ΟΥΓΓΑΡΙΑ	25.20	7,491	7.49	8.81	1,369.00	1.37	1.61	
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	6.91	2,068	2.07	2.43	0.00	0.00	0.00	
ΕΣΘΟΝΙΑ	6.25	391	0.39	0.46	0.00	0.00	0.00	
ΙΡΛΑΝΔΙΑ	14.18	3,752	3.75	4.41	107.20	0.11	0.13	
ΚΡΟΑΤΙΑ	8.53	2,082	2.08	2.45	1,471.40	1.47	1.73	
ΚΥΠΡΟΣ	2.27	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
ΛΕΤΟΝΙΑ	4.38	1,098	1.10	1.29	0.00	0.00	0.00	
ΣΛΟΒΕΝΙΑ	6.58	664	0.66	0.78	2.60	0.00	0.00	
ΦΙΝΛΑΝΔΙΑ	33.15	2,243	2.24	2.64	0.00	0.00	0.00	
ΛΟΥΞΕΜΒΟΥΡΓΟ	4.18	774	0.77	0.91	0.00	0.00	0.00	
ΜΑΛΤΑ	0.76	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
ΣΥΝΟΛΑ	1,627.48	357,909	357.91	421				

Κατανάλωση -Τοπική παραγωγή			Εισαγωγές LNG	Καθαρή ζήτηση φυσικού αερίου μέσω αγωγών
(ktoe/a)	(Mtoe/a)	bcm	EIA 2015	
			bcm	bcm
58,819	58.82	69.20	0	69.20
35,027	35.03	41.21	6.5	34.71
25,621	25.62	30.14	0	30.14
49,756	49.76	58.54	5.9	52.64
24,484	24.48	28.80	13.6	15.20
10,093	10.09	11.87	0.2	11.67
-9,827	-9.83	-11.56	2.5	-14.06
13,967	13.97	16.43	2.5	13.93
731	0.73	0.86	0	0.86
6,278	6.28	7.39	0	7.39
140	0.14	0.16	0	0.16
5,840	5.84	6.87	0	6.87
2,672	2.67	3.14	0.6	2.54
2,510	2.51	2.95	0	2.95
-1,277	-1.28	-1.50	0	-1.50
3,802	3.80	4.47	0	4.47
4,074	4.07	4.79	1.5	3.29
6,122	6.12	7.20	0	7.20
2,068	2.07	2.43	0.4	2.03
391	0.39	0.46	0	0.46
3,645	3.65	4.29	0	4.29
611	0.61	0.72	0	0.72
0	0.00	0.00	0	0.00
1,098	1.10	1.29	0	1.29
662	0.66	0.78	0	0.78
2,243	2.24	2.64	0	2.64
774	0.77	0.91	0	0.91
0	0.00	0.00	0	0.00

Ακόμη, για κάθε αγωγό ορίστηκε στο TransCAD η φορά της ροής δίνοντας την τιμή 1,0,-1 ανάλογα αν είναι μονής ή διπλής κατεύθυνσης. Για την περίπτωση που η ροή ήταν διπλής κατεύθυνσης είτε χρησιμοποιήθηκε ένας αγωγός που ορίστηκε διπλής κατεύθυνσης δίνοντας την τιμή 0, είτε σχεδιάστηκαν δύο αγωγοί παράλληλοι όπου η ροή τους είναι αντίθετη για τονιστεί η πορεία που αυτοί ακολουθούν.

Επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία των δύο ομάδων από το σύνολο των κόμβων, της παραγωγής και της κατανάλωσης. Αυτό έγινε μέσα από τη επιλογή Selection και με την εισαγωγή συνθήκης, δηλαδή η ζήτηση να είναι μεγαλύτερη του μηδενός για τα σημεία κατανάλωσης και αντίστοιχα η παραγωγή για τα σημεία παραγωγής. Τα σημεία παραγωγής ορίστηκαν με πράσινο χρώμα, ενώ τα σημεία κατανάλωσης με μπλε χρώμα.



Σχήμα 61: Στάδιο δημιουργίας συνόλων παραγωγής και κατανάλωσης.

Τα συνολικά στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα εμφανίζονται στον επόμενο πίνακα. Έχουν χρησιμοποιηθεί όλα από μία πηγή γι αυτό διαφέρουν ελαφρώς από τον πίνακα 15. Κάθε κόμβος κατανάλωσης αντιστοιχεί σε μία χώρα και οι ολικές καταναλώσεις είναι ίσες με τις ολικές παραγωγές.

Πίνακας 16: Δεδομένα κατανάλωσης και ζήτησης για το πρόγραμμα TransCAD.^[95]

ID	Longitude	Latitude	Supply	Demand	Country Name
34	22511626	360			
36	22511500	366			
43	22511712	556			
44	22511503	486		19	Belarus
46	22511942	592	100		Russia
19	22511470	442		16.1	Ukraine
1	22511279	538	88		North Sea
2	22511246	475		30.5	UK
3	22511277	441		32.6	France
4	22511341	463		72.7	Germany
5	22511307	532	24.6		Norway
6	22511289	460		14.5	Belgium
7	22511470	495		1.9	Lithuania
8	22511472	514		1.4	Latvia
17	22511336	506	1.4		Denmark
18	22511392	535		0.8	Sweden
45	22511578	513			
48	22511525	542			
49	22511383	487			
10	22511433	474		12	Poland
15	22511397	451		7.7	Czech Rep.
22	22511391	427		7.1	Austria
13	22511358	419		54.8	Italy
23	22511368	378			
24	22511386	415		0.8	Slovenia
41	22511287	271	43.9		Algeria
42	22511380	231	7.1		Libya
12	22511223	364		14.2	Spain
16	22511200	481		4.3	Ireland
51	22511181	363		3.2	Portugal
11	22511295	468	15.5		Netherlands
14	22511333	428		3.5	Switzerland
28	22511472	413		0.2	Romania
29	22511492	385		2.7	Bulgaria
30	22511515	424		2.9	Moldova
31	22511451	376		0.1	Fyrom
61	22511599	406			
40	22511571	357		39.6	Turkey
53	22511445	367			
37	22511492	371			
38	22511419	364			
54	22511429	367			
20	22511428	440		4.5	Slovakia
21	22511433	423		7.2	Hungary
25	22511399	413		0.9	Croatia
26	22511444	397		1.4	Serbia
27	22511417	399		0.2	Bosnia
9	22511484	531		0.5	Esthonia
52	22511613	528			
50	22511504	567		2.7	Finland
33	22511703	364	8.2		Azerbaijan
35	22511668	343	8.1		Iran
55	22511889	631	65.7		Russia
56	22511475	369		2.5	Greece
62	22511695	455			
58	22511660	495			
63	22511703	509			

Ακολούθως, όλα αυτά τα γραμμικά στοιχεία και το σύνολο των κόμβων ενώνονται και δημιουργείται το συνολικό δίκτυο που αποτελεί και το πρόβλημα προς επίλυση ορίζοντας τις παραμέτρους του. Ορίζεται η στήλη που αποτελεί το μήκος των αγωγών. Στο πρόβλημα ως μήκος θεωρήθηκε το πραγματικό και όχι το σχεδιαστικό που προέκυψε από το ArcGIS.

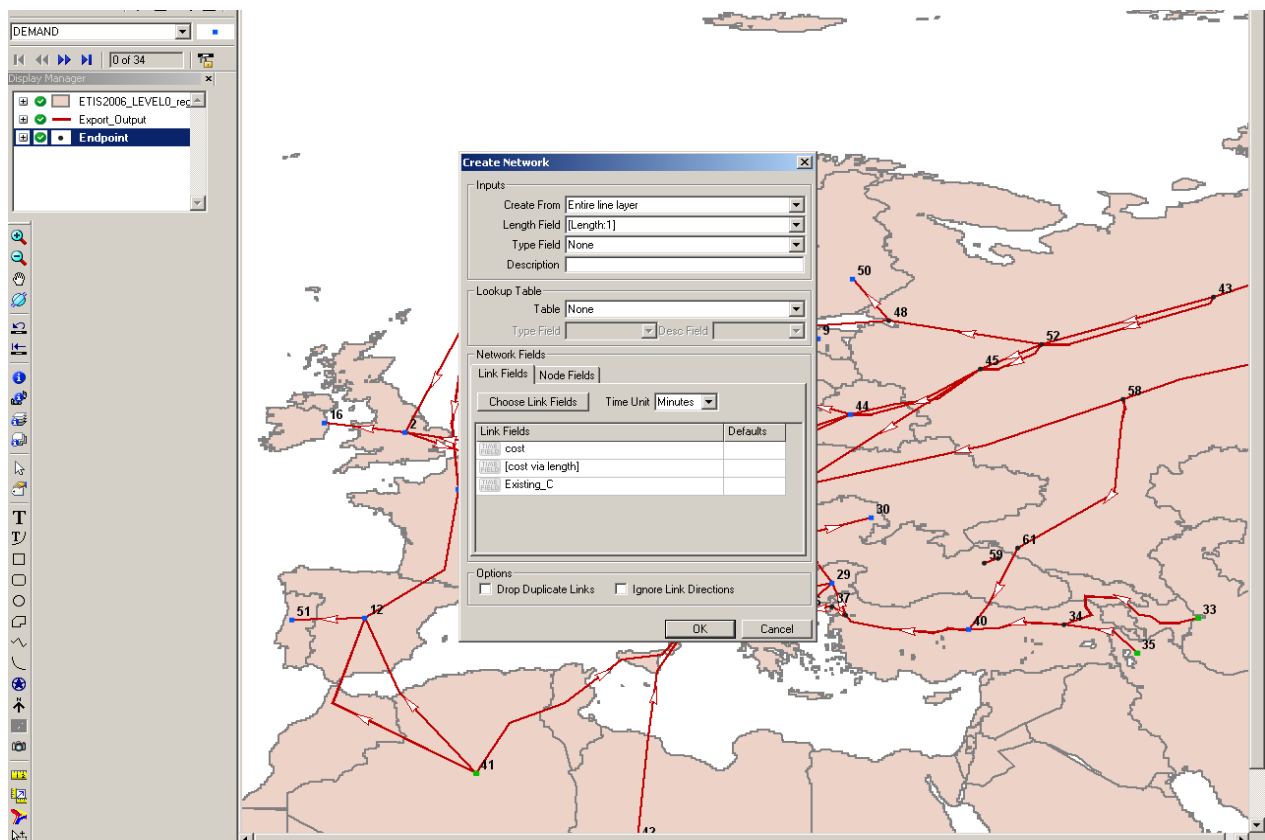
Ως γραμμικές μεταβλητές των αγωγών ορίστηκαν (Link Fields):

- Η ετήσια δυναμικότητα των αγωγών
- Κόστος μεταφοράς

Για το κόστος μεταφοράς αρχικά θεωρήθηκε σταθερό για όλους τους αγωγούς, κάτι το οποίο δεν ήταν όμως ρεαλιστικό. Στην πραγματικότητα τα τέλη μεταφοράς διαφέρουν από χώρα σε χώρα όπως και το κόστος ροής από αγωγό σε αγωγό. Για αυτό το λόγο ήταν επιτακτική η ανάγκη μιας απλοποίησης για την προσομοίωση του κόστους. Οπότε το κόστος θεωρήθηκε ως συνάρτηση του πραγματικού μήκους κάθε αγωγού.

Ως μεταβλητές των σημείων (Node Fields) ορίστηκαν :

- Η ποσότητα του αερίου που παράγεται σε κάθε κόμβο
- Η ποσότητα του αερίου που καταναλώνεται



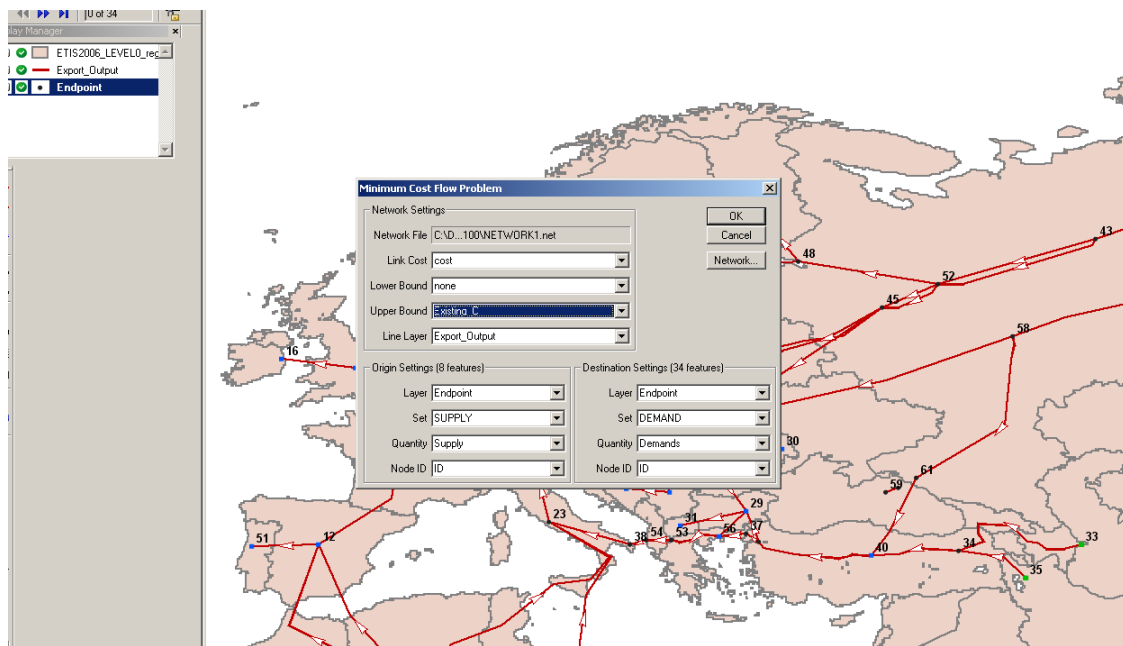
Σχήμα 62: Το στάδιο δημιουργίας δικτύου στο TransCAD.

Το επόμενο και τελευταίο στάδιο ήταν η επίλυση με τη μέθοδο ροής ελαχίστου κόστους (Minimum Cost Flow). Σε αυτό το σημείο επιλέγει στοιχεία για το δίκτυο, για τα σημεία προέλευσης και τα σημεία προορισμού. Για το δίκτυο επιλέγεται το:

- κόστος του αγωγού
- ο άνω περιορισμός μεταφοράς, όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν η χωρητικότητα των αγωγών
- το κατώτερο όριο
- και το σύνολο των αγωγών που επιλύονται

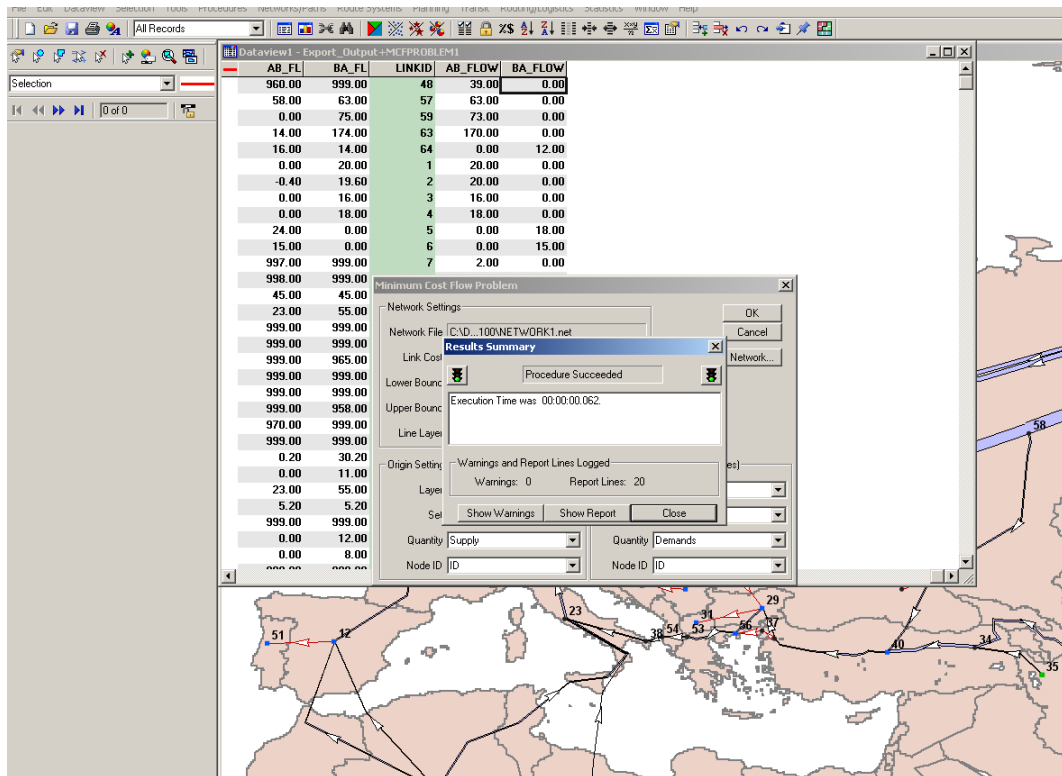
Για τα σύνολα της προέλευσης και προορισμού, δηλαδή παραγωγής και κατανάλωσης επιλέγεται:

- το layer όπου βρίσκονται οι κόμβοι (Endpoint Layer)
- το όνομα του σετ που έχει δημιουργηθεί (SUPPLY & DEMAND)
- οι τιμές της παραγωγής και κατανάλωσης (Supply & Demands)
- και ο κωδικός αριθμός των σημείων



Σχήμα 63: Το στάδιο ορισμού παραμέτρων του MCF στο TransCAD.

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται το αποτέλεσμα μιας επιτυχούς επίλυσης. Ένδειξη σφάλματος είναι πιθανόν να εμφανιστεί στο πρόγραμμα όταν η συνολική παραγωγή δεν είναι ίση με τη συνολική κατανάλωση, όταν σημεία παραγωγής-κατανάλωσης δεν έχουν έγκυρη τιμή είτε όταν ένας κωδικός αριθμός κάπου κόμβου δεν βρεθεί.



Σχήμα 64: Επιτυχής επίλυση προβλήματος MCF με το πρόγραμμα TransCAD.

Εισάγοντας λοιπόν τα παραπάνω στοιχεία το πρόγραμμα έτρεξε την ανάλυση παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα των ρών στους σχεδιασμένους αγωγούς τόσο σε μορφή πίνακα excel όσο και σε σχηματική απεικόνιση της ποσότητας του φυσικού αερίου που διασχίζει τον κάθε αγωγό. Ανάλογη με το πάχος του αγωγού που παρουσιάζεται είναι και η ποσότητα που κατά βέλτιστο τρόπο αυτό μεταφέρει. Ακόμη, πρέπει να αναφερθεί ότι το λογισμικό παρουσιάζει τα αποτελέσματα και τα δεδομένα κάνοντας στρογγυλοποιήσεις.

Όπως είναι λογικό, έχοντας εξηγήσει και στην παράγραφο 4.2.2 τον τρόπο που επιλύεται το πρόβλημα ροής ελαχίστου κόστους από το TransCAD (μέθοδος όλα ή τίποτα), αν υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές το φυσικό αέριο θα διασχίσει την οικονομικότερη διαδρομή έως ότου εξαντλήσει τη δυναμικότητα του αγωγού. Αυτό δημιουργεί πρόβλημα, διότι κάποιοι αγωγοί σημαντικοί λόγω του ότι έχουν μεγαλύτερο κόστος ως συνάρτηση του μήκους, δεν χρησιμοποιούνται καθόλου. Για παράδειγμα όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα οι αγωγοί Nord Stream και Soyuz δεν χρησιμοποιούνται. Κάτι τέτοιο δεν είναι ρεαλιστικό και το μοντέλο χρειάζεται να βαθμονομηθεί (calibration). Δηλαδή να οριστούν περαιτέρω παράμετροι ώστε αυτό να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

Για να επιτευχθεί αυτό έπειτα από δοκιμές επιλέχθηκε η χρήση του κατώτερου ορίου (lower bound) σε βασικούς αγωγούς, που υποδηλώνει την ελάχιστη ποσότητα αερίου κάτω από την οποία δεν μπορεί να πέσει ο εκάστοτε αγωγός. Για τον αγωγό Nord Stream θεωρήθηκε κατώτατο όριο η πραγματική παροχή του αγωγού, δηλαδή 48bcm. Για τον

Soyuz θεωρήθηκε κατώτατο όριο το μισό της δυναμικότητας του με τιμή 13bcm ενώ για τον Zeepipe 8bcm.



Σχήμα 65: Σχηματική απεικόνιση της ροής των αγωγών φυσικού αερίου ως αποτέλεσμα της επίλυσης MCF μέσω του TransCAD (χωρίς βαθμονόμηση).

Μετά τη χρήση του κατώτατου ορίου για τη ροή του φυσικού αερίου σε κάποιους αγωγούς ήταν απαραίτητος ο έλεγχος ότι οι κόμβοι κατανάλωσης (Demand Nodes) καλύπτουν τη ζήτηση που έχουν από τις ροές του αερίου που φτάνει και φεύγει από αυτούς. Αυτό έγινε μέσω ενός αρχείου excel που δημιουργήθηκε και υπολόγιζε την ροή του αερίου που εισρέει και εκρέει από κάθε κόμβο κατανάλωσης. Η διαφορά των ροών αυτών δείχνει την καθαρή ποσότητα που φτάνει στον κόμβο και σε σύγκριση με την καθαρή ζήτηση, μπορεί να διαπιστωθεί αν υπάρχει έλλειμμα ή πλεόνασμα στον κόμβο. Και συνεπώς αν καλύπτεται ή όχι η ζήτηση του κόμβου. Ακόμη, λόγω των στρογγυλοποιήσεων που κάνει το πρόγραμμα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω πρέπει η τιμή να είναι μεγαλύτερη από το -1 και το +1.

Έτσι έχουμε:

Υπολειπόμενη ποσότητα Κόμβου = Καθαρή Ζήτηση - (Σύνολο Εισροών - Σύνολο Εκροών)

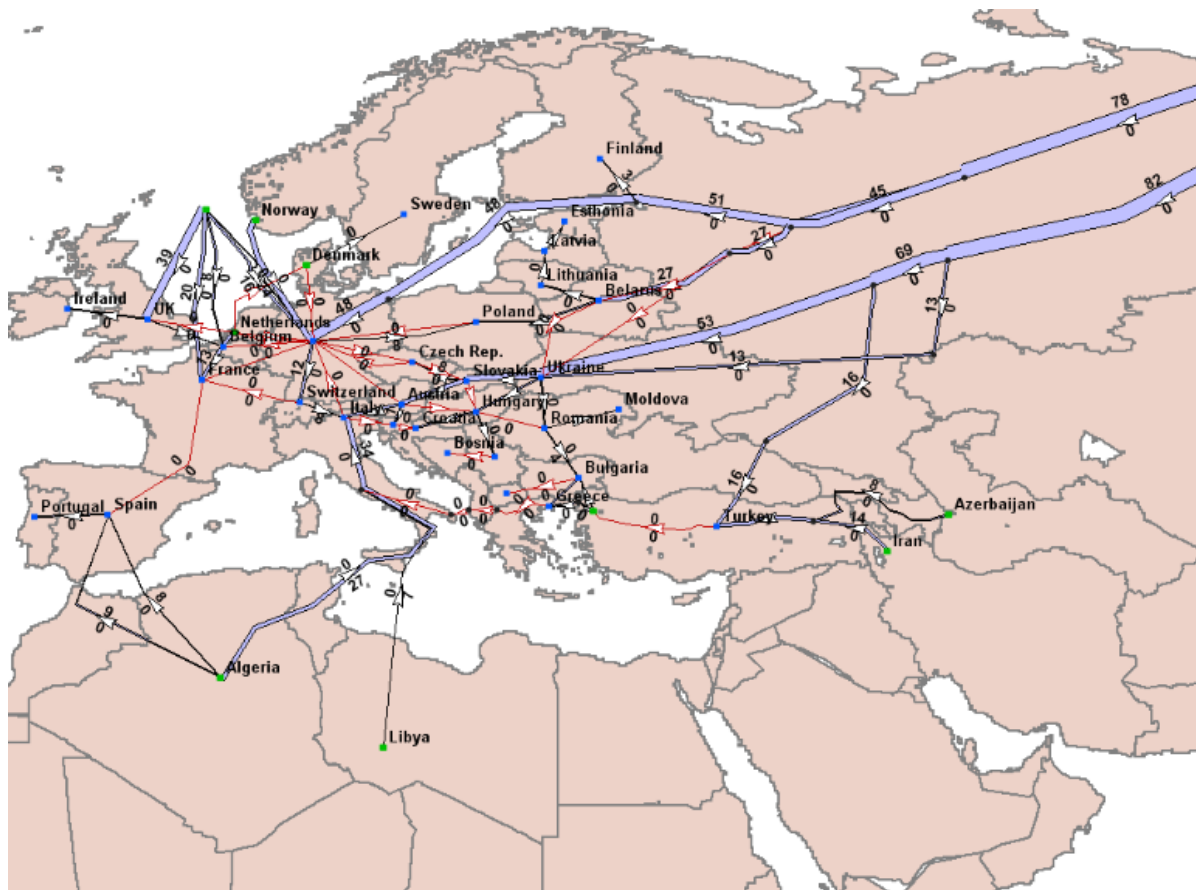
Εάν η τιμή αυτή είναι θετική σημαίνει ότι έχουμε πλεόνασμα ζήτησης και συνεπώς αυτή δεν καλύπτεται από τις ροές φυσικού αερίου. Εάν είναι αρνητική υπάρχει έλλειμμα ζήτησης, και συνεπώς η απαιτούμενη κατανάλωση υπερκαλύπτεται ενώ αν είναι ίση με μηδέν υπάρχει ισορροπία, δηλαδή η ζήτηση είναι ίση με την εισερχόμενη μείον την εξερχόμενη ποσότητα αερίου.

Πίνακας 17: Έλεγχος κάλυψης ζήτησης των κόμβων κατανάλωσης του μοντέλου.

ID	Country Name	Demand	Result
2	UK	30.5	-0.5
3	France	32.6	-0.4
4	Germany	72.7	-0.3
6	Belgium	14.5	-0.5
7	Lithuania	1.9	-0.1
8	Latvia	1.4	0.4
9	Esthonia	0.5	-0.5
10	Poland	12	0
12	Spain	14.2	0.2
13	Italy	54.8	-0.2
14	Switzerland	3.5	-0.5
15	Czech Rep.	7.7	-0.3
16	Ireland	4.3	0.3
18	Sweden	0.8	-0.2
19	Ukraine	16.1	0.1
20	Slovakia	4.5	-0.5
21	Hungary	7.2	0.2
22	Austria	7.1	0.1
24	Slovenia	0.8	-0.2
25	Croatia	0.9	-0.1
26	Serbia	1.4	0.4
27	Bosnia	0.2	0.2
28	Romania	0.2	0.2
29	Bulgaria	2.7	-0.3
30	Moldova	2.9	-0.1
31	Fyrom	0.1	0.1
40	Turkey	39.6	1.6
44	Belarus	19	0
50	Finland	2.7	-0.3
51	Portugal	3.2	0.2
56	Greece	2.5	-0.1

Παρατηρεί κανείς πως η ζήτηση καλύπτεται σε όλες τις χώρες εκτός από την Τουρκία η οποία χρειάζεται 1.6bcm επιπλέον, γεγονός όμως που είναι λογικό αφού η Τουρκία τροφοδοτείται και από άλλες χώρες της Μέσης Ανατολής, με αγωγούς που δεν έχουν αποτυπωθεί αφού το μοντέλο εστιάζει στο δίκτυο τροφοδοσίας της Ευρώπης.

Ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το μοντέλο με χρήση του κατώτερου ορίου ροής σε ορισμένους αγωγούς.



Σχήμα 66: Σχηματική απεικόνιση της ροής των αγωγών φυσικού αερίου ως αποτέλεσμα της επίλυσης MCF μέσω του TransCAD (με βαθμονόμηση).

ο Ροή Φυσικού Αερίου από τη Ρωσία:

Η βόρεια διαδρομή που ακολουθεί το φυσικό αέριο από τη Ρωσία τροφοδοτεί την Ευρώπη με 78bcm (η ποσότητα 65.7 δεν επαρκούσε για να καλύψει τη Λετονία, Λιθουανία κλπ). Η ποσότητα αυτή είναι ικανή να καλύψει πλήρως τις ανάγκες της Λιθουανίας, της Λετονίας και της Εσθονίας όπως και της Φιλανδίας. Οι χώρες αυτές είναι άλλωστε σχεδόν σε ποσοστό 100% εξαρτημένες από τις εισαγωγές αερίου από τη Ρωσία. Ο βόρειος άξονας αυτός τροφοδοτεί τη Γερμανία μέσω του αγωγού Nord Stream με ποσότητα 48bcm, ενώ στην πραγματικότητα η τιμή αυτή είναι 45.2. Η Πολωνία λαμβάνει 4bcm στην προσομοίωση μέσω TransCAD, ενώ στην πραγματικότητα η τιμή αυτή είναι 8.8bcm.

Ο νότιος άξονας, δηλαδή οι αγωγοί Brotherhood και Soyuz, τροφοδοτεί την Ευρώπη με 82bcm. Μέσω αυτών και διασχίζοντας την Ουκρανία τροφοδοτούνται οι εξής χώρες: η

Ουγγαρία, η Ρουμανία, η Μολδαβία, η Κροατία, η Σερβία, η Τσεχία, η Σλοβακία, η Ιταλία και οι χώρες των Βαλκανίων. Η Ιταλία λαμβάνει ποσότητα τα 21bcm αντί 24,7 που δέχεται πραγματικά. Η Ελλάδα και η Βουλγαρία τροφοδοτούνται με 0.6bcm και 1bcm ετησίως από την Τουρκία ενώ την υπόλοιπη ποσότητα που χρειάζονται την παίρνουν από τη Ρωσία όπως και στο υφιστάμενο δίκτυο.^[96]

ο Ροή Φυσικού Αερίου από τη Βόρεια Θάλασσα:

Από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας και της Νορβηγίας τροφοδοτούνται οι βορειότερες χώρες της Ευρώπης. Πιο συγκεκριμένα η Αγγλία και η Σκωτία τροφοδοτούνται με ποσότητες 39 bcm (ενώ στη πραγματικότητα με 25.7), το Βέλγιο με 8bcm από τη Βόρεια θάλασσα και την Αγγλία ενώ στην πραγματικότητα λαμβάνουν ποσότητα 8.4bcm, η Γερμανία με 45 bcm (αντί για 35). Η Γαλλία τροφοδοτείται από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας και του Βελγίου μέσω των συνδέσεων της από το εσωτερικό δίκτυο, με ποσότητες 33bcm (αντί για 26,4 bcm). Η Γαλλία στην πραγματικότητα, δέχεται τις υπόλοιπες ποσότητες από τη Ρωσία, κάτι που δεν ισχύει στο μοντέλο αφού εξετάζει το κόστος καθαρά σαν συνάρτηση του μήκους. Έτσι ευνοείται η τροφοδοσία από τη Βόρεια Θάλασσα ως πιο σύντομη διαδρομή.

ο Ροή Φυσικού Αερίου από την Αφρική:

Από τα κοιτάσματα της Αφρικής η Ισπανία τροφοδοτείται με 17bcm εκ των οποίων τα 3 πηγαίνουν στην Πορτογαλία, άρα της απομένουν 14 (αντί για 12bcm) Η Ισπανία δεν ανταλλάσει φυσικό αέριο μέσω του αγωγού διπλής διεύθυνσης με τη Γαλλία, που τις ενώνει, αφού όπως αναφέρθηκε καλύπτει τις ανάγκες της από τα κοιτάσματα της Αλγερίας, ενώ η δεύτερη από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας και της Ολλανδίας. Η Ιταλία στο μοντέλο φαίνεται να δέχεται αρκετά μεγάλες ποσότητες σε σχέση με τη πραγματικότητα, ίσες με 34bcm από την Αλγερία (27) και τη Λιβύη (7) αφού το μοντέλο εξετάζει το κόστος καθαρά σαν συνάρτηση του μήκους, κάτι που ευνοεί την τροφοδοσία από την Αφρική και όχι από τη Βόρεια Θάλασσα που λαμβάνει στη πραγματικότητα το πλεόνασμα αυτό που προκύπτει.

Από τα παραπάνω καθώς και από τον έλεγχο κάλυψης της ζήτησης των κόμβων κατανάλωσης διαπιστώνει κανείς ότι το κατασκευασμένο μοντέλο στο TransCAD προσεγγίζει ικανοποιητικά το δίκτυο φυσικού αερίου για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής, έχοντας εφαρμόσει παραδοχές για την απλοποίηση του συστήματος. Παρά τις παραδοχές που έχουν εφαρμοστεί περιέχει τους βασικούς αγωγούς που απαρτίζουν το δίκτυο τροφοδοσίας φυσικού αερίου της Ευρώπης οι οποίοι έχουν παροχές κοντά στις πραγματικές, αποτυπώνει τις ανάγκες κάθε χώρας και εμπεριέχει υφιστάμενους περιορισμούς μεταφορικής ικανότητας.

4.4 Ανάπτυξη σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας

Οι πολίτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης θεωρούν αυτονόητο πως μπορούν να έχουν πρόσβαση στις ενεργειακές πηγές ανά πάσα στιγμή. Όμως, αν σκεφτεί κανείς ότι η Ε.Ε. εισάγει το 53% της ενέργειας που καταναλώνει και το 66% του φυσικού αερίου που χρειάζεται γίνεται αντιληπτό ότι τίθενται σοβαρά θέματα που αφορούν την ενεργειακή ασφάλεια. Στο θέμα του φυσικού αερίου αν συνυπολογιστεί και το πρόβλημα εφοδιασμού το 2006 και το 2009 λόγω της Ρωσοουκρανικής κρίσης, η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού αφορά όλα τα κράτη μέλη, έστω και αν ορισμένα από αυτά είναι πιο ευάλωτα από άλλα

Το πιο πιεστικό ζήτημα ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού είναι η ισχυρή εξάρτηση από έναν μόνο εξωτερικό προμηθευτή. Έξι κράτη μέλη εξαρτώνται από τη Ρωσία ως αποκλειστικό εξωτερικό προμηθευτή του συνόλου των εισαγωγών φυσικού αερίου, ενώ τρία από αυτά χρησιμοποιούν φυσικό αέριο για να καλύψουν περισσότερο από το ένα τέταρτο του συνόλου των ενεργειακών αναγκών τους. Ο ενεργειακός εφοδιασμός από τη Ρωσία αντιστοιχούσε στο 2013 το 39% των εισαγωγών φυσικού αερίου και στο 27% της κατανάλωσης αερίου στην ΕΕ. Το 71% της παραγωγής φυσικού αερίου της Ρωσίας εξήχθη στην Ευρώπη, με το μεγαλύτερο όγκο εξαγωγών προς τη Γερμανία και την Ιταλία.

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό χρειάζονται άμεσα μέτρα (βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα) και ανάπτυξη μηχανισμών έκτακτης ανάγκης (όπως για παράδειγμα αύξηση των αποθεμάτων), καλύτερη συνεργασία μεταξύ των κρατών και διαφοροποίηση των προμηθευτών, ανάπτυξη ενεργειακών τεχνολογιών και αύξηση της παραγωγής στην Ευρώπη και μετριασμό της ζήτησης.

Σχετικά με το φυσικό αέριο ένα πρώτο βήμα είναι η ανάπτυξη των υφιστάμενων αγωγών και πλήρη εκμετάλλευση της χωρητικότητας των αγωγών που ήδη υπάρχουν. Αυτό θα γίνει κυρίως με τα κοιτάσματα από τη Βόρεια Θάλασσα και την Βόρεια Αφρική. Επιτυγχάνοντας παράλληλα καλύτερη διασύνδεση στο εσωτερικό της δίκτυο μπορεί να γίνει καλύτερη διανομή του αερίου στην υπόλοιπη Ευρώπη.

Πέραν της ενίσχυσης της σχέσης με τους σημερινούς προμηθευτές, σκοπός της πολιτικής της ΕΕ θα πρέπει επίσης να είναι η διάνοιξη οδού προς και από νέες πηγές εφοδιασμού. Εν προκειμένω, η κατασκευή του Νότιου Διαδρόμου (Southern Corridor) και τα προσδιορισθέντα έργα κοινού ενδιαφέροντος αποτελούν σημαντικά στοιχεία, καθώς προλειαίνουν το έδαφος για εφοδιασμό από την περιοχή της Κασπίας και πέρα από αυτή. Απαραέγκλιτες προϋποθέσεις για να καταστούν εφικτά όλα τα προαναφερόμενα είναι η διαθεσιμότητα χωρητικότητας υποδομών για τις εισαγωγές και ποσοτήτων φυσικού αερίου προς πώληση σε προσιτές τιμές. Θα χρειαστεί κατάλληλη συνεργασία ΕΕ και κρατών μελών

Το επόμενο σενάριο που αναπτύχθηκε και αφορά την ενεργειακή ασφάλεια εξετάζει το ενδεχόμενο να μειθούν οι ποσότητες που τροφοδοτούν την Ευρώπη από τη Ρωσία με παράλληλη αύξηση σε πρώτο στάδιο της εκμετάλλευσης των υπολοίπων πηγών αερίου και

σε δεύτερο στάδιο την κατασκευή των προγραμματισμένων προς υλοποίηση αγωγών από την Αφρική και τη Μέση Ανατολή.

4.4.1 Σενάριο 0: Μείωση της τροφοδοσίας από τη Ρωσία χωρίς αλλαγή στο δίκτυο

Στόχος μέσα από αυτή τη δοκιμή είναι να μειωθεί η παροχή από τη Ρωσία χωρίς να επέλθει οποιαδήποτε αλλαγή στο υπόλοιπο δίκτυο και χωρίς κάποια αύξηση στις υπόλοιπες πηγές τροφοδοσίας της Ευρώπης. Όπως είναι λογικό στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ παραγωγής και ζήτησης και έτσι θα γίνουν αντιληπτά τι θα συμβεί και ποιοι θα επηρεαστούν από τη μείωση της ποσότητας του αερίου που εισέρχεται στην Ευρώπη από τη Ρωσία.

Ως δεδομένα για τα σημεία παραγωγής της Ρωσίας στο λογισμικό εισήχθησαν οι νέες μειωμένες τιμές. Συγκεκριμένα, μειώνοντας κατά 50% την ποσότητα τροφοδοσίας της Ρωσίας από 178bcm αυτή έφτασε τα 89bcm, εκ των οποίων τα 39 προέρχονταν από το σημείο παραγωγής του βόρειου άξονα και 50 από το δεύτερο σημείο παραγωγής της Ρωσίας. Τα υπόλοιπα στοιχεία παρέμειναν σταθερά. Δημιουργώντας το νέο δίκτυο και επιλύοντας με τη μέθοδο ροής ελαχίστου κόστους εξήχθησαν οι ποσότητες που διαπερνούν τον κάθε αγωγό.

Τα αποτελέσματα των ροών αυτών εισήχθησαν στο φύλλο Excel που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα για να διαπιστωθεί σε ποιες χώρες εμφανίζεται έλλειμμα και σε ποιές πλεόνασμα φυσικού αερίου.

Η Γερμανία, όπως φάνηκε από το μοντέλο, στη προσομοίωση του υφιστάμενου δικτύου, εξαρτάται πολύ από την τροφοδοσία της Ρωσίας σε φυσικό αέριο. Από την επίλυση του σεναρίου, μια μείωση της τροφοδοσίας από τη Ρωσία σε τέτοια ποσοστά φαίνεται να την οδηγεί να καλύψει τις ανάγκες της από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας. Αυτό γίνεται κυρίως με αύξηση των ποσοτήτων που δέχεται από τον Europipe II, ο οποίος ξεκινά από την Νορβηγία. Οι σταθερές παραγωγές των κοιτασμάτων της Βόρειας Θάλασσας σε συνδυασμό με την αυξημένη εκμετάλλευση τους από την Γερμανία, έχει ως αποτέλεσμα να δέχονται λιγότερες ποσότητες από τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας το Βέλγιο και η Γαλλία, με την δεύτερη να έχει ιδιαίτερα μεγάλες ελλείψεις σε ποσότητες φυσικού αερίου. Με μία αναδιαμόρφωση όμως, των ροών, οι ελλείψεις αυτές θα μπορούσαν να διαμοιραστούν στις 3 αυτές χώρες. Το αποτέλεσμα θα ήταν το ίδιο, δηλαδή θα υπήρχε πρόβλημα τροφοδοσίας των χωρών αυτών. Άμεσο πρόβλημα εξαιτίας των παραπάνω δημιουργείται και στην Ελβετία η οποία πλέον δεν δέχεται φυσικό αέριο από τη Γερμανία.

Η Αυστρία Ιταλία και η Ελβετία φαίνεται να αντιμετωπίζουν μεγάλα προβλήματα στην κάλυψη των καταναλώσεων τους και αυτό είναι αποτέλεσμα των μειώσεων τροφοδοσίας κυρίως από το νοτιότερο άξονα του Ρωσικού δικτύου. Και οι τρεις χώρες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και όταν κάποια καλύπτει οριακά τις ανάγκες της, οι υπόλοιπες εμφανίζουν έλλειμμα. Ακόμη, η Μολδαβία και η Βουλγαρία εξαρτώνται από τη Ρουμανία. Οπότε στην περίπτωση που αυτή καλύπτεται οριακά, οι άλλες δύο δεν ικανοποιούν τη ζήτησή τους.

Πίνακας 18: Έλεγχος κάλυψης της ζήτησης των κόμβων για μείωση της τροφοδοσίας από τη Ρωσία κατά 50%.

ID	Country Name	Demand	Results50%
2	UK	30.5	-0.5
3	France	32.6	23.6
4	Germany	72.7	-0.3
6	Belgium	14.5	3.5
7	Lithuania	1.9	-0.1
8	Latvia	1.4	0.4
9	Esthonia	0.5	-0.5
10	Poland	12	0
12	Spain	14.2	0.2
13	Italy	54.8	17.8
14	Switzerland	3.5	3.5
15	Czech Rep.	7.7	-0.3
16	Ireland	4.3	0.3
18	Sweden	0.8	-0.2
19	Ukraine	16.1	0.1
20	Slovakia	4.5	-0.5
21	Hungary	7.2	0.2
22	Austria	7.1	5.1
24	Slovenia	0.8	0.8
25	Croatia	0.9	0.9
26	Serbia	1.4	1.4
27	Bosnia	0.2	0.2
28	Romania	0.2	0.2
29	Bulgaria	2.7	1.7
30	Moldova	2.9	2.9
31	Fyrom	0.1	0.1
40	Turkey	39.6	1.6
44	Belarus	19	0
50	Finland	2.7	2.7
51	Portugal	3.2	0.2
56	Greece	2.5	2.1

4.4.2 Σενάριο 1: Μείωση της τροφοδοσίας από τη Ρωσία με αλλαγές στο δίκτυο

Το επόμενο σενάριο που εξετάστηκε αποτελείται από πέντε επιμέρους στάδια και σχετίζεται με τη σταδιακή μείωση της τροφοδοσίας από τη Ρωσία, αρχικά λαμβάνοντας τη μέγιστη ποσότητα βάσει του υφιστάμενου δικτύου από τη Βόρεια Θάλασσα και την Αφρική και στη συνέχεια από τα νέα έργα που έχουν σχεδιαστεί. Σε κάθε στάδιο η συνολική παραγόμενη ποσότητα παραμένει σταθερή, αφού όσο μειώνεται η παραγόμενη ποσότητα της Ρωσίας αυξάνεται η τροφοδοσία από εναλλακτικές πηγές φυσικού αερίου.

Σενάριο 1.1

Το πρώτο υποσενάριο ελέγχει το κατά πόσο οι εναλλακτικές πηγές τροφοδοσίας αν εκμεταλλευτούν πλήρως τις υποδομές τους μπορούν να καλύψουν μείωση από τη Ρωσία. Από τη Μέση Ανατολή λόγω έλλειψης υποδομών δεν μπορεί προς το παρόν να αξιοποιηθεί το αέριο της. Έτσι, γίνεται λόγος για χώρες της Αφρικής και της Βόρειας Θάλασσας. Πιο συγκεκριμένα η δυναμικότητα του δικτύου της Βόρειας Θάλασσας είναι 137.6bcm και αν συγκριθεί με τις υφιστάμενες ετήσιες ποσότητες παραγωγής της, οι οποίες είναι 112.6 bcm, το συμπέρασμα είναι ότι μπορεί να αυξήσει την τροφοδοσία της προς την Ευρώπη κατά ποσότητες ίσες με 25bcm. Αντίστοιχα το δίκτυο της Αφρικής έχει δυναμικότητα 64bcm και αν συγκριθεί με τις υφιστάμενες ετήσιες ποσότητες παραγωγής της, οι οποίες είναι 51bcm, το συμπέρασμα είναι ότι μπορεί να αυξήσει την τροφοδοσία της προς την Ευρώπη κατά 13 bcm. Αν αθροιστούν οι παραπάνω ποσότητες τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας και Αφρικής με τη πλήρη λειτουργία των υφιστάμενων δικτύων μπορούν να παρέχουν επιπλέον 38bcm φυσικού αερίου. Αυτή η ποσότητα αντιστοιχεί σε ποσοστό μείωσης της τροφοδοσίας των κοιτασμάτων της Ρωσίας κατά 21%. Έτσι, αντίστοιχα στη Ρωσία θεωρήθηκε μετά τη μείωση ότι τα 78bcm προέρχονταν από το σημείο παραγωγής του νότιου άξονα και 62 από το δεύτερο σημείο παραγωγής της Ρωσίας. Τα δεδομένα ρυθμίστηκαν ώστε η συνολική παραγόμενη ποσότητα να παραμείνει σταθερή.

Από τα αποτελέσματα όπως παρουσιάζονται και στον επόμενο πίνακα, διαπιστώνει κανείς πως όλες οι χώρες της Ευρώπης δεν αντιμετωπίζουν κάποιο πρόβλημα στο να καλύψουν τη ζήτησή τους. Το μόνο πρόβλημα παρουσιάζεται την Τουρκία η οποία εξαρτάται από τη Ρωσία και έχει ταυτόχρονα υψηλή ζήτηση. Έτσι, οι πηγές από τη Μέση Ανατολή δεν επαρκούν να καλύψουν τις ανάγκες της και η μείωση της παροχής από τη Ρωσία επιδρούν σε αυτή.

Στο υποσενάριο αυτό, χρησιμοποιείται και ο μοναδικός αγωγός που συνδέει τη Γαλλία με την Ισπανία και στα σενάρια που η τροφοδοσία από τη Ρωσία μειώνεται, είναι φανερό ότι ο ρόλος του αγωγού αυτού αυξάνεται σημαντικά. Πλέον η Γαλλία καλύπτει τις ανάγκες της από τη Βόρεια Θάλασσα και την Αφρική. Ακόμη, σημαντική παρατήρηση είναι ότι η Γερμανία στην περίπτωση αυτή καλύπτεται πλήρως από τη Βόρεια Θάλασσα, όμως διαφαίνεται ότι σε περαιτέρω μείωση θα έχει πρόβλημα να καλύψει τις χώρες που έως τώρα τροφοδοτούνταν μέσω της Γερμανίας.

Πίνακας 19: Έλεγχος κάλυψης ζήτησης των κόμβων για το πρώτο υποσενάριο.

ID	Country Name	Demand	Result
2	UK	30.5	-0.5
3	France	32.6	-0.4
4	Germany	72.7	-0.3
6	Belgium	14.5	-0.5
7	Lithuania	1.9	-0.1
8	Latvia	1.4	0.4
9	Esthonia	0.5	-0.5
10	Poland	12	0
12	Spain	14.2	0.2
13	Italy	54.8	-0.2
14	Switzerland	3.5	-0.5
15	Czech Rep.	7.7	-0.3
16	Ireland	4.3	0.3
18	Sweden	0.8	-0.2
19	Ukraine	16.1	0.1
20	Slovakia	4.5	-0.5
21	Hungary	7.2	0.2
22	Austria	7.1	0.1
24	Slovenia	0.8	-0.2
25	Croatia	0.9	-0.1
26	Serbia	1.4	0.4
27	Bosnia	0.2	0.2
28	Romania	0.2	0.2
29	Bulgaria	2.7	-0.3
30	Moldova	2.9	-0.1
31	Fyrom	0.1	0.1
40	Turkey	39.6	7.6
44	Belarus	19	0
50	Finland	2.7	-0.3
51	Portugal	3.2	0.2
56	Greece	2.5	-0.5

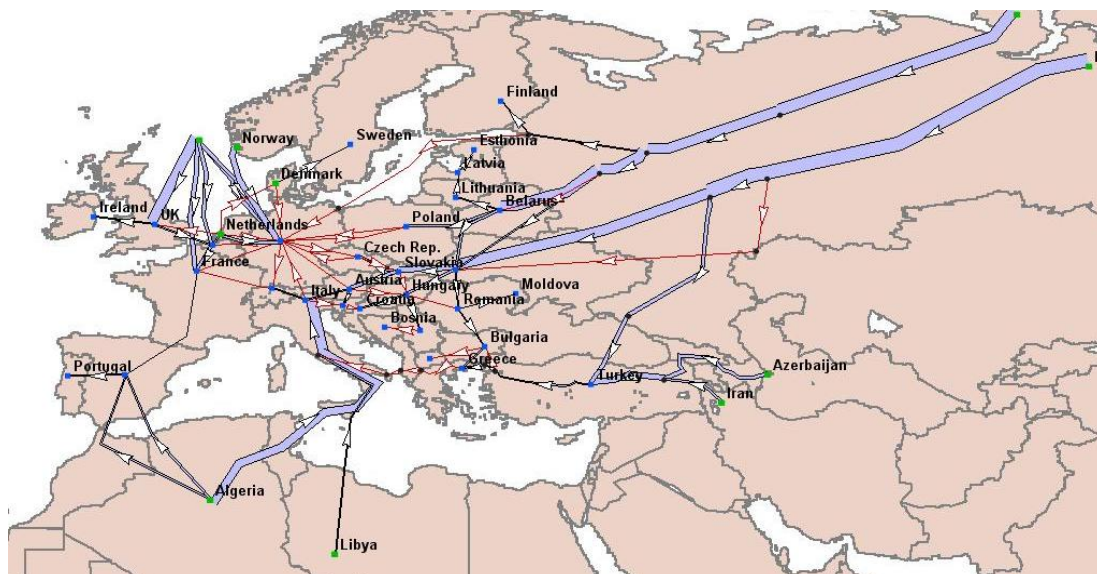
Σενάριο 1.2

Το επόμενο στάδιο ήταν η περαιτέρω μείωση της ποσότητας που τροφοδοτεί η Ρωσία, ανάλογα με την παροχή που μπορούν να δώσουν νέα έργα. Το σενάριο αυτό αφορά το πρώτο μέρος του έργου για την υλοποίηση του Νοτίου Διαδρόμου, δηλαδή την κατασκευή του αγωγού Ταπαρ και Ταρ. Οι αγωγοί αυτοί είναι υπεύθυνοι για την μεταφορά του αερίου από το Αζερμπαϊτζάν όπως έχει ήδη αναφερθεί. Η ετήσια δυναμικότητα του Ταπαρ είναι 16bcm και του Ταρ 10bcm. Όμως τα 6bcm τα απορροφά η Τουρκία για αυτό ο αγωγός χωρίστηκε σε δύο μέρη. Το δεύτερο τμήμα του μετά το σημείο κατανάλωσης της Τουρκίας απέκτησε χωρητικότητα 10bcm. Έτσι, τα κοιτάσματα της Μέσης Ανατολής αυξήθηκαν κατά 10bcm.

Παράλληλα θεωρήθηκε ότι έχει κατασκευαστεί και ο αγωγός Galsi. Ο αγωγός αυτός είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά 8bcm από την Αλγερία στην Ιταλία. Η διαδρομή του είναι παρόμοια με εκείνη του αγωγού Transmed, οπότε αυξήθηκε η δυναμικότητα του ήδη υπάρχοντος αγωγού. Ταυτόχρονα αυξήθηκε κατά 8bcm, δηλαδή από 53 σε 61bcm η ποσότητα που παράγεται από την Αλγερία.

Έτσι συνολικά στο δίκτυο προστέθηκαν 18bcm, τα οποία αφαιρέθηκαν αναλογικά από τη Ρωσία. Η μείωση αυτή αντιστοιχεί σε ποσοστό 31% από τις αρχικές τιμές. Το ένα σημείο παραγωγής της Ρωσίας θεωρήθηκε ότι παράγει 68 ενώ το άλλο 54bcm.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι το σύστημα είναι σε θέση να αντέξει αυτή την αλλαγή ποσοτήτων της τροφοδοσίας και είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες των χωρών της Ευρώπης, αξιοποιώντας τον Νότιο Διάδρομο και το νέο αγωγό από την Βόρεια Αφρική. Ο βόρειος άξονας που ξεκινά από τη Ρωσία καλύπτει τις άμεσα εξαρτώμενες χώρες, δηλαδή την Εσθονία, τη Λετονία και τη Λιθουανία καθώς και τη Φινλανδία και φτάνει έως την Πολωνία. Πλέον, η Ελλάδα και η Βουλγαρία καλύπτονται από τη Μέση Ανατολή.



Σχήμα 67: Σχηματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων ροής αγωγών για το δεύτερο υποσενάριο.

Ακόμη, φαίνεται ότι η Ιταλία αξιοποιεί πλήρως τον νέο αγωγό από την Αφρική για να καλύψει μέρος της ποσότητας που κάλυπτε αρχικά από τη Ρωσία.

Σενάριο 1.3

Στο τρίτο υποσενάριο, γίνεται η θεώρηση ότι γίνεται αναβάθμιση των αγωγών Tapan και Tap, όπως αναμένεται να γίνει σε επόμενη φάση προσθέτοντας σταθμούς συμπίεσης για την αύξηση της παροχής των αγωγών αυτών. Ο Tapan θα μπορεί πλέον να μεταφέρει 24bcm ενώ ο Tap 20 bcm. Αυτή η αύξηση θα επιτρέψει επιπλέον μείωση των ποσοτήτων από τη Ρωσία, πετυχαίνοντας συνολική μείωση 36%.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι καλύπτονται όλες οι χώρες. Μόνο η Ελβετία εμφανίζει έλλειμμα 3bcm. Αυτό συμβαίνει επειδή η χώρα αυτή παίρνει φυσικό αέριο μόνο από την Ιταλία, τη Γαλλία και τη Γερμανία (μέσω των αγωγών Tenp και Transgas). Οι χώρες όμως αυτές επειδή έχουν μεγάλη κατανάλωση και ταυτόχρονα εξάρτηση από τη Ρωσία δεν έχουν περίσσεια αερίου ώστε να της παρέχουν και έτσι δεν καλύπτετε ολόκληρη η ζήτησή της.

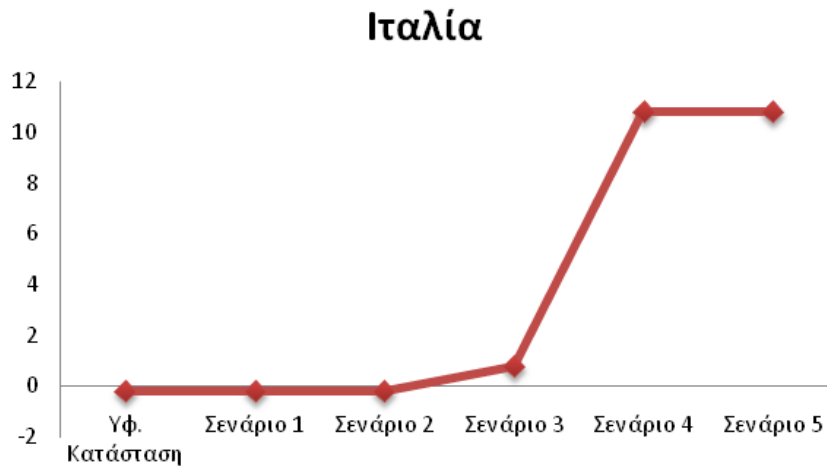
Σενάριο 1.4 & 1.5

Στο τέταρτο υποσενάριο θεωρήθηκε ότι θα γίνει επιπρόσθετη αναβάθμιση του αγωγού Tapan. Η νέα του ετήσια δυναμικότητα θα ανέρχεται στα 33bcm. Αυτό επιτρέπει την μείωση επιπλέον των κοιτασμάτων από τη Ρωσία, με συνολική μείωση 41%. Ενώ στο τελευταίο σενάριο προστέθηκαν οι αγωγοί ITGI, θεωρώντας ότι έχουν παρόμοια διαδρομή με τους αγωγούς Tap και Tapan, έχοντας 7 και 11bcm ετήσια δυναμικότητα. Αυτό αντιστοιχεί σε μείωση των κοιτασμάτων κατά 45% συνολικά από τη Ρωσία

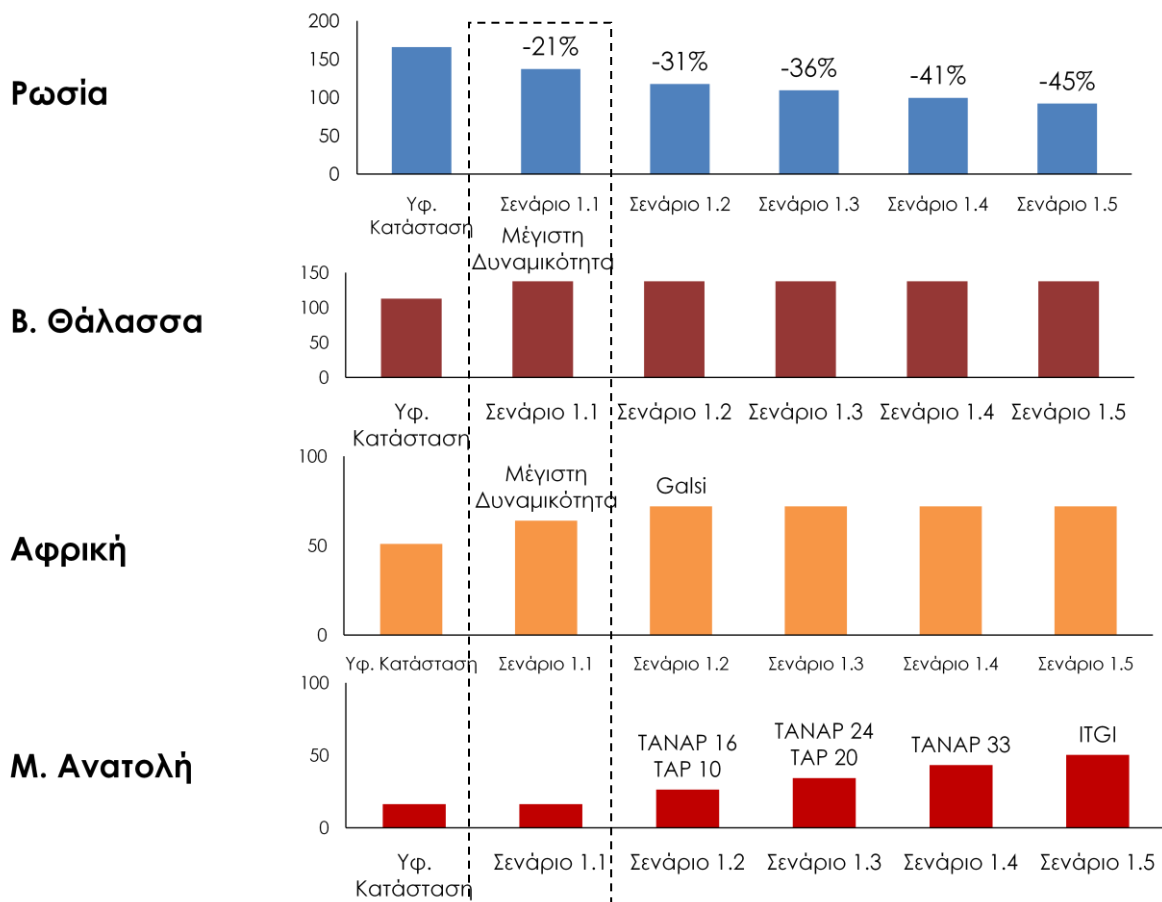
Στα δύο αυτά σενάρια φανερώνεται ότι χώρες που έχουν απόλυτη εξάρτηση από τη Ρωσία όπως Φιλανδία και Μολδαβία που τροφοδοτείται μέσω της Ρουμανίας, σιγά σιγά εμφανίζουν πρόβλημα, αφού η ποσότητα της Ρωσίας δεν επαρκεί να τις καλύψει και ταυτόχρονα δεν έχουν διασύνδεση που να οδηγεί σε αυτές αέριο από εναλλακτικές πηγές τροφοδοσίας. Στο σημείο αυτό φαίνεται πως η Ευρώπη χρειάζεται παράλληλα να αναπτύξει το εσωτερικό της δίκτυο ώστε όλες οι χώρες να μπορούν να προμηθευτούν από πολλαπλά σημεία τροφοδοσίας σε περίπτωση που κάποιος απ αυτούς μειώσει την παροχή αερίου. Το ίδιο συμβαίνει και στην Ιταλία καθώς και στη διασύνδεση της Γαλλίας με την Ισπανία.

Επιπλέον, πρόβλημα φαίνεται να εμφανίζει και η Ιταλία. Η Ιταλία εξαρτάται σήμερα σε ποσοστό περίπου 50% από τη Ρωσία και ταυτόχρονα έχει μεγάλη ζήτηση να καλύψει. Τα κοιτάσματα από την Αφρική δεν είναι σε θέση να καλύψουν πλήρως το μέρος του φυσικού αερίου που πλέον στα σενάρια αυτά δεν λαμβάνει από τη Ρωσία. Σχετικά με τον αγωγό Tap, δεν είναι ικανός να καλύψει τη διαφορά αυτή αφού παράλληλα και η Τουρκία που εξαρτάται και αυτή σημαντικά από τη Ρωσία, απορροφά πλέον μεγαλύτερη ποσότητα από τα κοιτάσματα της Μέσης Ανατολής για να καλύψει τη ζήτησή της. Αυτό είναι ακόμη πιο έντονο στο συγκεκριμένο μοντέλο αφού δεν έχουν αποτυπωθεί οι υπόλοιπες πηγές

τροφοδοσίας της Τουρκίας. Συνεπώς ένα ερώτημα για το οποίο θα πρέπει διερευνήσει η Ευρώπη με το Νότιο διάδρομο είναι σε περίπτωση μείωσης της τροφοδοσίας από τη Ρωσία εάν η Τουρκία απαιτήσει μεγαλύτερες ποσότητες μέσω του Νοτίου Διαδρόμου, και αν αυτό οδηγήσει στο να μην είναι ικανός να καλύψει τις ανάγκες των Ευρωπαϊκών χωρών.

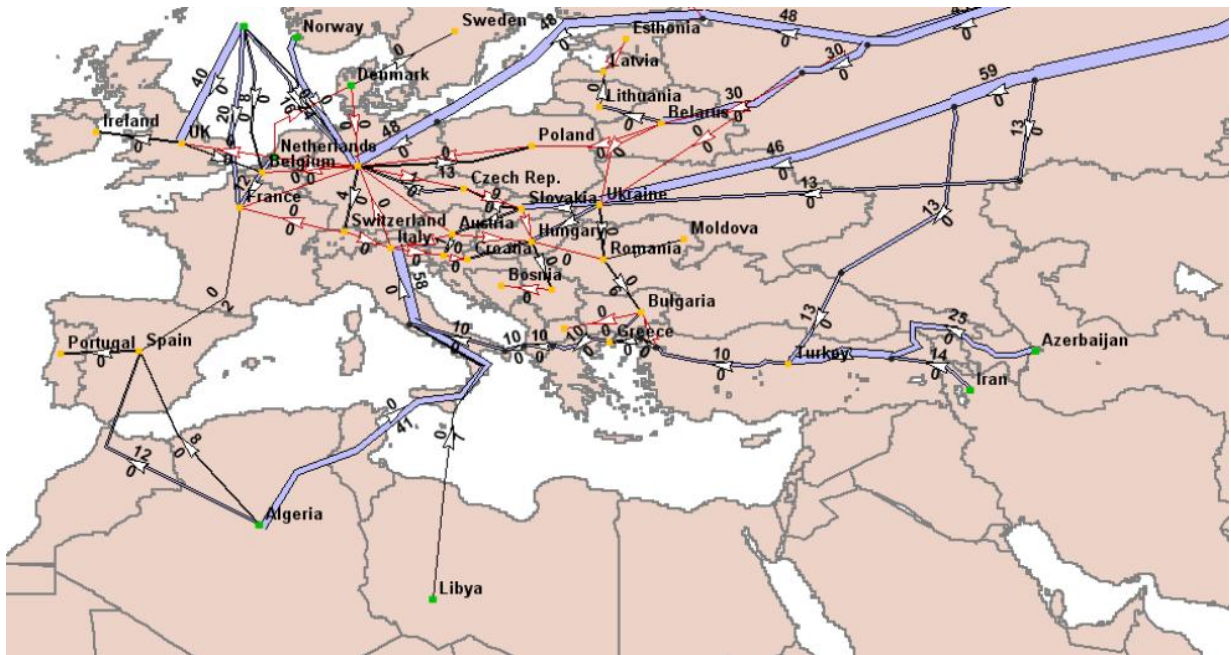


Σχήμα 68: Γραφική απεικόνιση του ελλείμματος/πλεονάσματος αερίου στην Ιταλία.



Σχήμα 69: Απεικόνιση των σεναρίων 1.1-1.5.

Σε αντίστοιχη δοκιμή που έγινε με τους αγωγούς Ταπαρ και Ταρ και το ισοζύγιο προήλθε από αύξηση της καθαρής ζήτησης των κόμβων και όχι από τη μείωση της παροχής αερίου από τη Ρωσία, φαίνεται η πλήρης αξιοποίηση του Νότιου διαδρόμου. Σε αντίθεση με το προηγούμενο σενάριο, το φυσικό αέριο μέσω του Νότιου Διαδρόμου μπορεί πλέον να φτάσει και στη κεντρική Ευρώπη. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να φτάσει στην Αυστρία, αξιοποιώντας τις δυνατότητες εναλλαγής και αντιστροφής ροής του αγωγού Transaustria, στη Γερμανία και τη Γαλλία μέσω Ελβετίας αξιοποιώντας τη δυνατότητα αντιστροφής ροής μέσω του αγωγού Transitgas καθώς επίσης στην Αγγλία, τη Βουλγαρία και σε άλλες χώρες της νοτιοανατολικής Ευρώπης.



Σχήμα 70: Αποτύπωση ροών φυσικού αερίου στους αγωγούς όπου φαίνεται η αξιοποίηση του Νοτίου διαδρόμου.

Πίνακας 20: Έλεγχος κάλυψης της ζήτησης των κόμβων στο τέταρτο και πέμπτο υποσενάριο.

ID	Country Name	Demand	Result (-41%)	Result (-45%)
2	UK	30.5	-0.5	-0.5
3	France	32.6	-0.4	-0.4
4	Germany	72.7	-0.3	-0.3
6	Belgium	14.5	-0.5	-0.5
7	Lithuania	1.9	-0.1	-0.1
8	Latvia	1.4	0.4	0.4
9	Estonia	0.5	-0.5	-0.5
10	Poland	12	0	0
12	Spain	14.2	0.2	0.2
13	Italy	54.8	10.8	10.8
14	Switzerland	3.5	3.5	3.5
15	Czech Rep.	7.7	-0.3	-0.3
16	Ireland	4.3	0.3	0.3
18	Sweden	0.8	-0.2	-0.2
19	Ukraine	16.1	0.1	0.1
20	Slovakia	4.5	-0.5	-0.5
21	Hungary	7.2	0.2	0.2
22	Austria	7.1	0.1	0.1
24	Slovenia	0.8	-0.2	0.8
25	Croatia	0.9	-0.1	-0.1
26	Serbia	1.4	0.4	0.4
27	Bosnia	0.2	0.2	0.2
28	Romania	0.2	0.2	0.2
29	Bulgaria	2.7	-0.3	-0.3
30	Moldova	2.9	-0.1	2.9
31	Fyrom	0.1	0.1	0.1
40	Turkey	39.6	-0.4	-0.4
44	Belarus	19	0	0
50	Finland	2.7	-0.3	2.7
51	Portugal	3.2	0.2	0.2
56	Greece	2.5	-0.5	-0.5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Συμπεράσματα και Εισηγήσεις

5.1 Συμπεράσματα Διπλωματικής Εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική έγινε ενδελεχής μελέτη του υφιστάμενου δικτύου τροφοδοσίας φυσικού αερίου στην Ευρώπη, για να μπορέσει να υλοποιηθεί ένα μοντέλο που θα το απεικονίζει και μέσω αυτού να διερευνηθούν θέματα ενεργειακής ασφάλειας. Το μοντέλο αυτό δημιουργήθηκε στο GIS και κατόπιν έγινε η εισαγωγή του στο TransCAD όπου επιλύθηκε με τη μέθοδο ροής ελαχίστου κόστους. Το κατασκευασμένο μοντέλο αποτυπώνει ικανοποιητικά το υφιστάμενο δίκτυο για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής. Παρά τις παραδοχές που έχουν εφαρμοστεί:

- ο περιέχει τους βασικούς αγωγούς που απαρτίζουν το δίκτυο τροφοδοσίας φυσικού αερίου της Ευρώπης, οι οποίοι έχουν παροχές κοντά στις πραγματικές
- ο αποτυπώνει τις ανάγκες κάθε χώρας
- ο δείχνει τις ροές και τις συνδέσεις μεταξύ χωρών, με υφιστάμενους περιορισμούς μεταφορικής ικανότητας.

Τα σενάρια που αναπτύχθηκαν ακολούθως καλύπτουν δύο βασικά ερωτήματα που αφορούν την ενεργειακή ασφάλεια. Το πρώτο αφορά το κατά πόσο μπορεί το υφιστάμενο δίκτυο να καλύψει μείωση της τροφοδοσίας της Ρωσίας και σε τί ποσοστό αυτό αντιστοιχεί, αν εκμεταλλευτεί πλήρως τη χωρητικότητα των υφιστάμενων αγωγών. Και δεύτερον, σε τί ποσοστό μπορούν τα νέα έργα που σχεδιάζονται να πετύχουν ανεξαρτητοποίηση από τη Ρωσία.

Σε γενικές γραμμές φαίνεται ότι μπορεί να εφαρμοστεί συνολική μείωση κατά 45% της τροφοδοτούμενης ποσότητας από τη Ρωσία, αξιοποιώντας τις εναλλακτικές πηγές τροφοδοσίας και τα νέα έργα που έχουν προβλεφθεί να υλοποιηθούν. Από το ποσοστό αυτό το υφιστάμενο δίκτυο είναι σε θέση να δεχτεί μείωση 21%, αντισταθμίζοντας τη μείωση αυτή με αξιοποίηση της δυναμικότητας των ήδη υπαρχόντων αγωγών.

Στα σενάρια αυτά, ο αγωγός που συνδέει την Ισπανία με τη Γαλλία (bottleneck) θα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, αφού φαίνεται από τα αποτελέσματα ότι απαιτείται η πλήρης αξιοποίησή του, όπως και η διασύνδεση της Ιταλίας με την υπόλοιπη Ευρώπη. Αυτό είναι απαραίτητο για την ομαλή διανομή του αερίου σε όλα τα σημεία κατανάλωσης. Ταυτόχρονα το μοντέλο παρουσίασε τη σημαντικότητα των υποδομών του εσωτερικού δικτύου της Ευρώπης. Το γεγονός ότι υπάρχουν χώρες, όπως η Φιλανδία και η Μολδαβία, που οι αγωγοί που φτάνουν σε αυτές προέρχονται από μοναδικό προμηθευτή, μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα σε περίπτωση μείωσης της παροχής από αυτόν. Το ίδιο ισχύει και για τις χώρες στις οποίες φτάνει το φυσικό αέριο και είναι υπεύθυνες για την περαιτέρω διαμετακόμισή του.

Ακόμη μέσα από την επίλυση των σεναρίων παρουσιάζεται η σημαντικότητα του Νοτίου Διαδρόμου, ένα έργο που θα βοηθήσει την ανεξαρτητοποίηση της Ευρώπης από τη Ρωσία. Όμως στο σενάριο όπου μειώθηκε σημαντικά η παρεχόμενη ποσότητα από τη Ρωσία, η Τουρκία έχοντας μεγάλη ζήτηση ως χώρα, αναγκάστηκε να απορροφήσει σημαντικές ποσότητες από αυτόν με αποτέλεσμα να μειωθεί η ποσότητα που εν τέλει φτάνει στην Ευρώπη. Συνεπώς, η Ευρώπη καλείται να διαχειριστεί μια τέτοια υποθετική περίπτωση.

5.2 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.

Στο αναπτυχθέν μοντέλο όπως έχει αναφερθεί, το LNG εμπεριέχεται έμμεσα ως ποσότητα που αφαιρείται για να παρουσιαστεί στον κάθε κόμβο η καθαρή ζήτηση αερίου που απαιτείται μέσω αγωγών. Ως εξέλιξη αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα, αν αποτυπωθούν τα σημεία που τροφοδοτούνται με LNG και ενωθούν με τους αγωγούς που έχουν σχεδιαστεί.

Ακόμη, 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.

Επιπλέον, μπορούν να αναπτυχθούν διάφορα σενάρια για περαιτέρω μελέτη της ενεργειακής ασφάλειας, αφού το μοντέλο είναι σε θέση να προσφέρει αποτελέσματα γρήγορα που ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Μέσω αυξομειώσεων ζήτησης και παραγωγής μπορούν να διερευνηθούν οι επιδράσεις που αυτές θα έχουν στον ενεργειακό χάρτη του φυσικού αερίου.

Το μοντέλο που έχει κατασκευαστεί μπορεί να εμπλουτιστεί με περισσότερους αγωγούς για πιο πιστή απεικόνιση του υφισταμένου, ενώ εύκολα μπορούν να προστεθούν και νέοι αγωγοί σε περίπτωση που στο μέλλον προκύψουν τέτοιες αλλαγές.

Τέλος, η επίλυση της μεταφοράς του φυσικού αερίου έγινε μέσα από τη μέθοδο Minimum Cost Flow. Επίλυση μπορεί να γίνει και με άλλη μέθοδο όπως το Traffic Assignment Problem και τα αποτελέσματα των μεθόδων μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους.

Παράρτημα

Τεχνικοί όροι των αγωγών

Σωληνογραμμές: Η ίδια η σωλήνωση, αποκαλούμενη συνήθως ως "σωληνογραμμή", αποτελείται από ένα χάλυβα υψηλής αντοχής, που κατασκευάζεται για να ανταποκριθεί στα πρότυπα που καθορίζονται από τους αρμόδιους οργανισμούς και νομοθεσίες. Η σωληνογραμμή καλύπτεται επίσης με ένα ειδικό επίστρωμα για να εξασφαλισθεί ότι δεν θα διαβρωθεί αφού τοποθετηθεί στο έδαφος. Ο σκοπός του επιστρώματος είναι να προστατεύσει τον αγωγό από την υγρασία, η οποία προκαλεί διάβρωση και οξείδωση. Όσον αφορά τη διάμετρο, κυμαίνεται μεταξύ 150 mm και 1420 mm σε διάμετρο, ανάλογα με τη λειτουργία τους. Οι περισσότεροι διακρατικοί αγωγοί είναι μεταξύ 610mm και 920mm σε διάμετρο, ενώ οι πλευρικοί αγωγοί οι οποίοι παίρνουν φυσικό αέριο από τον κεντρικό άξονα, είναι συνήθως μεταξύ 150mm και 400mm σε διάμετρο

Σταθμοί συμπίεσης: Για να εξασφαλισθεί η υψηλής πίεσης ροή του φυσικού αερίου σε οποιοδήποτε σημείο της σωλήνωσης, απαιτείται περιοδικά κατά μήκος του σωλήνα η συμπίεσή του. Αυτό υλοποιείται από τους σταθμούς συμπίεστών, που τοποθετούνται συνήθως σε διαστήματα 65 έως 160χλμ κατά μήκος της σωλήνωσης. Για τους υποθαλάσσιους αγωγούς οι σταθμοί συμπίεσης κατασκευάζονται σε πλωτές εξέδρες και η πίεση τους φτάνει μέχρι και τα 150bar. Το φυσικό αέριο ουσιαστικά εισέρχεται στο σταθμό συμπίεστών, όπου συμπιέζεται είτε από ένα στρόβιλο, κινητήρα, ή μηχανή.

Σταθμοί Μέτρησης: Εκτός από τους συμπίεστες φυσικού αερίου, κατά μήκος των διακρατικών σωληνώσεων τοποθετούνται περιοδικά και σταθμοί μέτρησης. Αυτοί οι σταθμοί επιτρέπουν στις επιχειρήσεις τοποθέτησης σωληνώσεων να ελέγξουν και να διαχειριστούν το φυσικό αέριο στους αγωγούς τους. Ουσιαστικά, οι σταθμοί μέτρησης μετρούν τη ροή του αερίου κατά μήκος της σωλήνωσης, και επιτρέπουν στις επιχειρήσεις σωληνώσεων να παρακολουθήσουν το φυσικό αέριο καθώς ρέει κατά μήκος της σωλήνωσης. Για τη λειτουργία τους χρησιμοποιούν εξειδικευμένους μετρητές που μετρούν το φυσικό αέριο καθώς διατρέχει τη σωλήνωση, χωρίς παρακώλυση της ροής του.

Βαλβίδες: Οι διακρατικές σωληνώσεις περιλαμβάνουν έναν μεγάλο αριθμό βαλβίδων κατά μήκος τους. Αυτές οι βαλβίδες λειτουργούν όπως οι πύλες και είτε είναι ανοικτές και επιτρέπουν την ελεύθερη ροή του φυσικού αερίου είτε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να σταματήσουν τη ροή του αερίου κατά μήκος ενός ορισμένου τμήματος του αγωγού. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους μια σωλήνωση μπορεί να χρειαστεί να περιορίσει τη ροή του αερίου σε ορισμένες περιοχές. Παραδείγματος χάριν, εάν ένα τμήμα του σωλήνα χρήζει αντικατάστασης ή συντήρησης. Αυτές οι μεγάλες βαλβίδες μπορούν να τοποθετηθούν κάθε 5 έως 30 χλμ κατά μήκος της σωλήνωσης και υπόκεινται στους κανονισμούς από τους κώδικες ασφάλειας.

Συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης: Το μεγαλύτερο μέρος των δεδομένων που λαμβάνεται από έναν σταθμό ελέγχου παρέχεται από τα Εποπτικά Συστήματα Ελέγχου και Λήψης Δεδομένων. Αυτά τα συστήματα είναι περίπλοκα συστήματα επικοινωνιών που παίρνουν μετρήσεις και συλλέγουν δεδομένα κατά μήκος της σωλήνωσης (συνήθως σε σταθμούς μέτρησης, σταθμούς συμπιεστών ή βαλβίδες) και τα διαβιβάζουν στο κεντρικό σταθμό ελέγχου. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν στοιχεία όπως η παροχή εντός της σωλήνωσης, η λειτουργική κατάσταση, η πίεση, καθώς και η θερμοκρασία. Αυτές οι πληροφορίες, αναμεταδίδονται σε έναν κεντρικό σταθμό ελέγχου και επιτρέπουν στους μηχανικούς σωληνώσεων να γνωρίζουν πάντα τι ακριβώς συμβαίνει κατά μήκος της σωλήνωσης. Αυτό επιτρέπει γρήγορες αντιδράσεις στις όποιες δυσλειτουργίες του εξοπλισμού, διαρροές, ή οποιαδήποτε άλλη ασυνήθιστη δραστηριότητα κατά μήκος της σωλήνωσης.

Μέγιστη δυναμικότητα αγωγού (Technical Capacity): Αφορά τη μέγιστη ποσότητα που μπορεί να μεταφερθεί με τον αγωγό. Όμως, η ποσότητα που πραγματικά εκείνος μεταφέρει και αποτελεί την εν δυνάμει ποσότητα που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι καταναλωτές διαφέρει και μπορεί να επηρεαστεί από τις σχέσεις πίεσης μεταξύ των αγωγών, τη θερμοκρασία, την ποιότητα του φυσικού αερίου, λοιπούς τεχνικούς περιορισμούς κλπ

Βιβλιογραφία

- [1]Eurostat. (n.d.). Retrieved from [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Final_energy_consumption,_EU28,_2015_\(%25_of_total,_based_on_tonnes_of_oil_equivalent\)_YB17.png#filehistory](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Final_energy_consumption,_EU28,_2015_(%25_of_total,_based_on_tonnes_of_oil_equivalent)_YB17.png#filehistory)
- [2]Consumption of energy - Statistics Explained.(2017). Ec.europa.eu,http://ec.europa.eu/eurostat/statistics_explained/index.php/Consumption_of_energy
- [3]Energy trends. (n.d.). Retrieved from http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_trends
- [4]Key World Energy Statistics [PDF]. (2016). International Energy Agency .
- [5]Τόνος ισοδύναμου πετρελαίου. (2016, June 09). Retrieved from https://el.wikipedia.org/wiki/Τόνος_ισοδύναμου_πετρελαίου
- [6]Sandra C. Feldman, Ramona E. Pelletier, Ed Walser,, James C. Smoot, & Douglas Ahl. (1995). A Prototype for Pipeline Routing Using Remotely Sensed Data and Geographic Information Analysis (Tech.).
- [7]Mahmoud Reza Delavar, & Fereydoon Naghibi. (n.d.). Pipeline Routing Using Geospatial Information System Analysis (Tech.). University of Tehran, Tehran, IRAN.
- [8]Maheen Iqbal, Farha Sattar, & Muhammad Nawaz. (n.d.). Planning a Least Cost Gas Pipeline Route A GIS & SDSS Integration Approach (Tech.). University of the Punjab, Lahore.
- [9]Berry, J. K., King, M. D., & Lopez, C. (n.d.). A Web-Based Application for Identifying and Evaluating Alternative Pipeline routes and Corridors[PDF]. USA.
- [10]Mujgan S. Ozdemir, & Thomas L. Saaty. (2006). The unknown in decision making What to do about it. European Journal of Operational Research, 174, 349-359. Retrieved from www.sciencedirect.com
- [11]Ye. Andreyeva, O. I. Larichev, N. E. Flanders & R. V. Brown (1995) Complexity and uncertainty in arctic resource decisions: The example of the Yamal pipeline, Polar Geography, 19:1, 22-35, DOI:10.1080/10889379509377558
- [12]Oleg I. Larichev, & Rex V. Brown. (2000). Numerical and Verbal Decision Analysis: Comparison on Practical Cases. Journal of Multi-criteria Decision Analysis, 9, 263--273.
- [13]F. Thomaidis (2011). Method for Route Selection of Transcontinental Natural Gas Pipelines. National and Kapodistrian University of Athens

-
- [14] Fotios Thomaidis, & Dimitrios Mavarakis. (2006). Optimum Route of the South Transcontinental Gas Pipeline in SE Europe using AHP. *Journal of Multi-criteria Decision Analysis*, 14, 77-88. doi:10.1002/mcda.402
- [15] Prasanta Kumar Dey. (2002). An Integrated Assessment Model for Cross-country Pipelines. *Environmental Impact Assessment Review*, 22, 703-721. Retrieved from www.elsevier.com/locate/eiar
- [16] Prasanta Kumar Dey, & Soumitra Shankar Gupta. (2001). Feasibility Analysis of Cross – country Petroleum Pipeline Projects: A Quantitative Approach. *Project Management Journal*, 32(4), 50-58.
- [17] A. Chebouba, F. Yalaoui, A. Smati, L. Amodio, K. Younsi & A. Tairi (2009). Optimization of natural gas pipeline transportation using ant colony optimization. *Computers & Operation Research* vol.36, pp.1916-1923.
- [18] 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.
- [19] 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>
- [20] Mert Bilgin (2009). Geopolitics of European natural gas demand: Supplies from Russia, Caspian and the Middle East. *Energy Policy* 37, pp. 4482-4492.
- [21] Philipp Offenber. (2016, January 15). The European neighborhood and the EU's security of supply with natural gas. Retrieved from <http://www.delorsinstitute.eu/011-22328-The-European-neighbourhood-and-the-EU-s-security-of-supply-with-natural-gas.html>
- [22] Mitrova, T., Boersma, T., & Galkina, A. (2016). Some future scenarios of Russian natural gas in Europe. *Energy Strategy Reviews*, 11-12, 19-28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esr.2016.06.001>
- [23] Lochner, S., & Bothe, D. (2009). The development of natural gas supply costs to Europe, the United States and Japan in a globalizing gas market—Model-based analysis until 2030. *Energy Policy*, 37(4), 1518-1528. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.012>
- [24] 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>
- [25] Friesz, T., Tobin, R., Smith, T., & Harker, P. (1983). A nonlinear complementarity formulation and solution procedure for the general derived demand network equilibrium problem. *Journal Of Regional Science*, 23(3), 337-359. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9787.1983.tb00994.x>

-
- [26]Dafermos, S. (1986). Isomorphic multiclass spatial price and multimodal traffic network equilibrium models. *Regional Science And Urban Economics*, 16(2), 197-209. [http://dx.doi.org/10.1016/0166-0462\(86\)90004-9](http://dx.doi.org/10.1016/0166-0462(86)90004-9)
- [27]Possamai, J., Pescador, A., Mayerle, S., & Neiva de Figueiredo, J. (2015). Optimal commodity price stabilization as a multi-period spatial equilibrium problem: A supernetwork approach with public buffer stocks. *Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review*, 77, 289-310. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2015.03.004>
- [28]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>
- [29]World Energy Outlook 2013. (2013). www.iea.org, from <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013.pdf>
- [30]Eurocoal Market Report 1/2016. (2016, May 22). Retrieved, from: <https://euracoal.eu/library/coal-market-reports/>
- [31]<http://money.cnn.com/>
- [32] Williams, J. L. (2011). Oil Price History and Analysis. Retrieved July 10, 2017, from <http://www.wtrg.com/prices.htm>
- [33]Τεχνολογία πετρελαίου και φυσικού αερίου. Εργαστήριο Τεχνολογίας καυσίμων και λιπαντικών ΕΜΠ.
- [34]Enerdata. (n.d.). World Natural gas Statistics. Retrieved from <https://yearbook.enerdata.net/natural-gas/world-natural-gas-production-statistics.html>
- [35]World Energy Outlook 2013. (2013). Paris: International energy agency.
- [36]BP Annual Report and Form 20-F 2013 [PDF]. (2014). London: BP
- [37]Melling, A. J. (2010). Natural gas pricing and its future[PDF]. Washington: Carnegie Endowment.
- [38]International Gas Union Report (2013)
- [39]The European Natural Gas Network 2017 [PDF]. (2017). Brussels: Entsog.
- [40]Philipp Offenber, Jacques Delors Institut - Berlin
- [41]Supplier countries - Energy - European Commission. Retrieved from <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/imports-and-secure-supplies/supplier-countries>
- [42]Who's dependent on Russian Gas [Map]. (n.d.). In East European Gas Analysis. Gazprom.
- [43]Gas Pipelines in the Ukraine [Map]. (n.d.). In The National Gas Union of Ukraine.

-
- [44]List of natural gas pipelines. (2017, April 17). Retrieved August 29, 2017, from https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_natural_gas_pipelines#Europe
- [45]Nord Stream. (2017, August 28). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Nord_Stream
- [46]Yamal–Europe pipeline. (2017, August 20). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Yamal%E2%80%93Europe_pipeline
- [47]Transportation. (n.d.). Retrieved August from <http://www.gazpromexport.ru/en/projects/4/>
- [48]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>
- [49]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
- [50]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)
- [51]Transportation. (n.d.). Retrieved August 29, 2017, from <http://www.gazpromexport.ru/en/projects/transportation/>
- [52]Retrieved from <http://www.gazprom.com/about/production/projects/pipelines/active/nord-stream/>
- [53]Blue Stream. (2017, August 14). Retrieved August 29, 2017, from https://en.wikipedia.org/wiki/Blue_Stream
- [54]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>
- [55][Http://interfaxenergy.com/gasdaily/article/15215/securing-the-future-of-turkish-stream](http://interfaxenergy.com/gasdaily/article/15215/securing-the-future-of-turkish-stream). (n.d.).
- [56]Oil and gas production. (n.d.). Retrieved August 31, 2017, from <http://www.norskpetroleum.no/en/production-and-exports/oil-and-gas-production/>
- [57]09-Rørledninger-E-14032017. (n.d.). Retrieved, from http://www.norskpetroleum.no/en?attachment_id=16323
- [58]Dutch denounce gas extraction in Groningen. (2015, April 15). Retrieved August 31, 2017, from <https://www.euractiv.com/section/energy/news/dutch-denounce-gas-extraction-in-groningen/>
- [59]Frigg Transportation System. Retrieved from <http://www.abdn.ac.uk/historic/friggexhibition/transportation.php>

[60]Vesterled. (n.d.). Retrieved August 31, 2017, from <https://www.gassco.no/en/our-activities/pipelines-and-platforms/vesterled/>

[61]Fulmar Gas Line. (2017, August 30). Retrieved August 31, 2017, from https://en.wikipedia.org/wiki/Fulmar_Gas_Line

[62]Retrieved August 31, 2017, from https://www.google.gr/search?q=FULMAR%2BPIPELINE&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewj-srm28YHWAhWEJhoKHYsCD88Q_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=i7z-Z8qK7t9QjM:

[63]Paul J. Openshaw, Peter J.H. Carnell. (n.d.). Fixed-bed technology purifies rich gas with H₂S, Hg. Retrieved September 01, 2017, from <http://www.ogj.com/articles/print/volume-97/issue-22/in-this-issue/gas-processing/fixed-bed-technology-purifies-rich-gas-with-h-2-s-hg.html>

[64]CATS. (n.d.). Retrieved September 01, 2017, from <http://www.catspipeline.com/about-cats/cats-infrastructure/pipeline/>

[65]Statpipe Rich Gas. (n.d.). Retrieved September 01, 2017, from <https://www.gassco.no/en/our-activities/pipelines-and-platforms/statpipe-rich-gas/>

[66]Franpipe. (n.d.). Retrieved September 01, 2017, from <https://www.gassco.no/en/our-activities/pipelines-and-platforms/franpipe/>

[67]Norpipe gas transport system | Norsk Oljemuseum. (n.d.). Retrieved September 01, 2017, from <http://www.norskolje.museum.no/en/norpipe-gas-transport-system/>

[68]Norpipe. (n.d.). Retrieved September 01, 2017, from <https://www.gassco.no/en/our-activities/pipelines-and-platforms/norpipe/>

[69]Europipe. (n.d.). Retrieved September 01, 2017, from <https://www.gassco.no/en/our-activities/pipelines-and-platforms/europipe/>

[70]Europipe I | Norsk Oljemuseum. (n.d.). Retrieved September 01, 2017, from <http://www.norskolje.museum.no/en/europipe-i-2/>

[71]Europipe II. (2017, August 15). Retrieved https://en.wikipedia.org/wiki/Europipe_II

[72]Zeepipe Gas Pipeline. (n.d.). Retrieved from <http://abarrelfull.wikidot.com/zeepipe-gas-pipeline>

[73]Fluxys and Statoil to explore cooperation in natural gas storage. (2011, January 17). http://www.fluxys.com/belgium/en/newsandpress/2011/110117_moustatoil.aspx

[74]Gas Pipelines that supply EU [Map]. (n.d.). In <http://www.learneurope.eu>.

[75]Chi-Kong Chyong & Louisa Slavkova & Vessela Tcherneva. (2015). Europe. Retrieved from http://www.ecfr.eu/article/commentary_europes_alternatives_to_russian_gas311666

-
- [76]Greenstream pipeline. (2017, August 15). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Greenstream_pipeline
- [77]Leigh Elston | Page 29 of 47. (n.d.). Retrieved from <http://interfaxenergy.com/author/leigh-elston/page=29>
- [78]The GreenStream Pipeline. (n.d.). Retrieved <http://www.greenstreambv.com/en/pages/greenstream-pipeline/greenstream-pipeline.shtml>
- [79]Maghreb–Europe Gas Pipeline. (2017, August 15). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Maghreb%E2%80%93Europe_Gas_Pipeline
- [80]The gas pipeline. (n.d.). Retrieved August 30, 2017, from <http://www.emplpipeline.com/en/the-gas-pipeline/>
- [81]Medgaz. (2017, August 15). Retrieved August 30, 2017, from <https://en.wikipedia.org/wiki/Medgaz>
- [82]Oil and Gas Journal. (n.d.). Algeria -Europe Pipeline System. Retrieved from https://www.google.gr/search?q=trans%2Bmediterranean%2Bpipeline&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjavcPR9f7VAhVEG5oKHaF1A3UQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=-GxqHcS3hrXRcM:
- [83]Trans-Mediterranean Pipeline. (2017, August 17). Retrieved August 30, 2017, from https://en.wikipedia.org/wiki/Trans-Mediterranean_Pipeline
- [84]GALSI pipeline. (n.d.). Retrieved August 30, 2017, from <http://www.edison.it/en/galsi-pipeline>
- [85]Southern Gas Corridor. (2017, August 08). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Southern_Gas_Corridor
- [86]South Caucasus pipeline. (n.d.). Retrieved August 30, 2017, from http://www.bp.com/en_az/caspian/operationsprojects/pipelines/SCP.html
- [87](n.d.). Retrieved August 30, 2017, from <https://www.enefit.lv/en/jaunumi/-/news/2014/10/16/energijas-tirgus-parskats-2014-gada-septembris>
- [88]Tabriz–Ankara pipeline. (n.d.). Retrieved from https://howlingpixel.com/wiki/Tabriz%E2%80%93Ankara_pipeline
- [89]Trans Anatolian Natural Gas Pipeline. (n.d.). Retrieved from <http://www.tanap.com/tanap-project/why-tanap/>
- [90]Turkey - TANAP Trans Anatolian Natural Gas Pipeline.– LOT 3. (n.d.). Retrieved from http://www.tekfeninsaat.com.tr/pipeline_project_detail.asp?id=25

[91]Construction of the Trans Adriatic Pipeline. Retrieved from <https://www.tap-ag.com/the-pipeline/building-the-pipeline>

[92]Global Project. (n.d.). Retrieved from <http://www.globalproject.info/>

[93]Burrough, P. A., McDonnell, R. A., & Lloyd, C. D. (2015). Principles of geographical information systems.

[94]TransCAD Transportation Software. (n.d.). Retrieved from <http://www.caliper.com/tcovu.htm>

[95]IEA. (n.d.). Gas Flows in Europe. Retrieved September 08, 2017, from <https://www.iea.org/gtf/#>

[96]BP Annual Report and Form 20-F 2016 [PDF]. (2017). London: BP